

MALLIPOHJAINEN MATERIAALIMÄÄRIEN SEURANTA RADANRAKENTAMISURAKOISSA

Teemu Ylinen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Vuosi 2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikan
koulutusohjelma

Tekijä	Teemu Ylinen	Vuosi	2015
Ohjaaja	Janne Poikajärvi		
Toimeksiantaja	Destia Rail Oy		
Työn nimi	Mallipohjainen materiaalmäärien seuranta radanrakentamisurakoissa		
Sivu- ja liitemäärä	52 + 4		

Tämän opinnäytetyön taustalla olivat tietomallipohjaisen suunnittelun myötä ratarakentamisessa lisääntyvät yksikköhintaurakat ja urakanaikainen tarve tarkemmalle määrätiedolle. Tältä pohjalta opinnäytetyön työn tavoitteena oli selvittää materiaalmäärien seurantaprosessi mallipohjaisella radanrakentamisurakalla. Tavoitetta varten työssä selvitettiin, miten oikeelliset materiaalmäärät saatiin laskettua Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen -hankkeella. Työssä tutkittu hanke ei ollut lähtökohtaisesti tietomallipohjainen. Työssä kuvaillaan, mitä hankkeen lähtötiedoille tehtiin, ennen kuin niitä voitiin käyttää mallipohjaisessa toteutuksessa. Lisäksi työssä esiteltiin tietomallinnusta infra-alalla ja tarvittavaa tarkkuutta mallintamisen lähtötiedoille.

Työn tuloksista saadaan käsitys siitä, millaisia osavaiheita ratahankkeen mallipohjaisessa materiaaliseurannassa on. Työn perusteella voitiin osavaiheet jakaa kolmeen kokonaisuuteen, jotka ovat lähtötietojen tarkistaminen, mallintaminen ja toteutuneen tarkistaminen. Tulosten perusteella voitiin todeta InfraBIM-nimikkeistön käyttämisen ja InfraBIM-mallinnusohjeiden ja -vaatimusten noudattamisen vaikuttavan mallipohjaisen toteutuksen tehokkuuteen.

Johtopäätöksissä pohdittiin aiheen nykytilan ongelmia ja niille ratkaisuja. Lisäksi pohdittiin, minkälaisia voisivat tulevaisuudessa käytettävät toteutusmallit olla.

Avainsanat määrälaskenta, tietomallinnus, työkonemaailma, 3D-Win

Technology,
Communication and Transport
Degree Programme of Land Surveying

Author	Teemu Ylinen	Year	2015
Supervisor	Janne Poikajärvi		
Commissioned by	Destia Rail Oy		
Subject of thesis	Model-Based Material Control in Railway Contracts		
Number of pages	52 + 4		

This Bachelor's thesis was based on the prolific increase of the unit price contracts which are connected with using the building information modeling in the field of railway infrastructure. There is a need for more accurate mass calculation in the unit price contract which is BIM-based. The goal of this thesis was to find out the process of material calculation in a model-based railway contract. In this thesis it was studied how materials were calculated in the Kemijärvi – Patokangas pavement improvement project.

The contract researched in this thesis was not a BIM-based. The thesis described how the starting data provided by the commissioner was modified by the contractor before it could be used in model-based building. In addition, this thesis presented the building information modeling in the infrastructure and the required accuracy for the starting data in the modeling.

The result of this thesis was a conception of the phases in the model-based material control in railway contracts. Based on the results reached in this thesis, the phases could be divided in three unities which are checking the starting data, modelling and checking the implementation. The results of this thesis indicate that using the InfraBIM classification and the InfraBIM requirements have a great impact on infra modeling. The conclusions of this thesis include pondering about the problems in the present situation and the solutions for them. In addition, the future of model-based railway building was discussed in this thesis.

Key words building information modeling, mass calculation, work machine automation, 3D-Win

SISÄLLYSLUETTELO

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	5
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	10
2 TYÖKONEAUTOMAATIO	13
2.1 Työkoneohjaus	13
2.2 Työkoneohjauslaitteisto	13
2.3 Mittausperusta	16
3 TIETOMALLIPOHJAINEN INFRARAKENTAMINEN	17
3.1 Tietomalli infra-alalla.....	17
3.1.1 Lähtötietomalli	17
3.1.2 Tuotemalli.....	18
3.1.3 Toteutusmalli	19
3.1.4 Toteumamalli.....	19
3.1.5 Ylläpitomalli	20
3.2 Inframodel-menetelmä tiedonsiirtoon.....	20
3.3 Inframallintamisessa käytettävän maastomallin tarkkuus	23
3.4 Yleiset inframallivaatimukset.....	24
3.5 Toteutusmallin sisältö ja vaatimukset väylärakenteessa.....	26
4 MALLINTAMINEN KEMIJÄRVI-HANKKEELLA	28
4.1 Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen.....	28
4.2 Maastomalli.....	30
4.3 Maastomallin tarkistaminen	31
4.4 Koneohjausmallien tekeminen	33
4.5 Mallintamisen hyödyntäminen.....	39
4.5.1 Mallipohjainen määrälaskenta.....	39
4.5.2 Mallintaminen työnjohdon apuna.....	42
5 TULOKSET.....	44
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	46
LÄHTEET.....	49
LIITTEET	52

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Työkoneohjauslaitteisto (Novatron 2014).....	14
Kuvio 2. Työkoneohjauksen käyttöliittymä (Novatron 2014)	14
Kuvio 3. GNSS-tukiasema Kemijärvi-hankkeella (Kemijärvi-hanke 2014)	15
Kuvio 4. Infrarakenteen tietomallin elinkaari (Mäkelä 2006, 26).....	17
Kuvio 5. Perinteisen suunnittelun ja tietomallipohjaisen suunnittelun ero tiedonsiirrossa (Rakennustieto 2010, 6).....	21
Kuvio 6. Kokonainen kaari kuvattuna LandXML-standardissa. (Kemijärvi-hanke 2014).....	22
Kuvio 7. Kokonainen kaari kuvattuna VGP-formaatissa (Kemijärvi-hanke 2014)	23
Kuvio 8. Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen (Kemijärvi-hanke 2014).....	28
Kuvio 9. Kemijärvi-hankkeen maanpinnan maastomalli (Kemijärvi-hanke 2014.)	30
Kuvio 10. Maastomalliaineiston tarkistus 3D-Win-ohjelmalla (Kemijärvi-hanke 2014).....	32
Kuvio 11. Leikkauspohjan ja maanpinnan maastomallin DWG-poikkileikkauskuva (Kemijärvi-hanke 2014)	33
Kuvio 12. CAD-poikkileikkaukset -toiminnon käyttäminen (Kemijärvi-hanke 2014).....	34
Kuvio 13. DWG-Poikkileikkaukset käännettynä geometrian mukaan (Kemijärvi-hanke 2014).....	35
Kuvio 14. Rakennepintojen piirtäminen DWG-poikkileikkauksien avulla (Kemijärvi-hanke 2014).....	36
Kuvio 15. Teoreettinen leikkauspohja ja tukikerros kolmioituna (Kemijärvi-hanke 2014).....	37
Kuvio 16. Sivuluiskien puhdistaminen automaattityökoneen Linja -toiminnolla (Marttila 2015).....	38
Kuvio 17. Tiegeometria -toiminto kuivausmallin tekemisessä (Kemijärvi-hanke 2014).....	39
Kuvio 18. Hyvän ja huonon toteutumamittauksen ero (Jaakkola 2015)	40

Kuvio 19. Tukikerroksen leikkausmassat paalulla 1057+560 (Kemijärvi-hanke 2014).....	41
Kuvio 20. Toteutuneen ratapenkereen poikkileikkaus paalulla 1057+560 (Kemijärvi-hanke 2014).....	42
Taulukko 1. Uuden raiteen tarkkuusvaatimukset (Ratahallintokeskus 2006, 46–47).....	16
Taulukko 2. Mallipohjaisen materiaalmäärien seurannan osavaiheet	44

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Alusrakenne	on radan rakenneosana, johon kuuluu välikerros ja eristyskerros.
InfraBIM-nimikkeistö	on rakennusosanimikkeistö, missä esitetään infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattava numerointi- ja nimeämiskäytännöt.
Infrakit	on työmaatietojen hallintajärjestelmä infratyömaille.
Inframallinnus	on sellaista toimintaa, joka edistää mallipohjaista suunnittelua, rakentamista ja omaisuuden hallintaa infra-alalla.
Jatkuvakiskoraide	on raide, jossa kiskon pituus on suurempi kuin 300 metriä.
Koneohjausmalli	on työkoneiden ohjausjärjestelmissä tarvittava jatkuva pinta- ja/tai linjamalli.
Leikkauspohja	on tietyn rakennepinnan ylä- tai alapinta. Esimerkiksi alusrakennepinnan yläpinta.
Mallipohjainen	on tiedon soveltamistapa, jossa tieto kuvataan tietokonesovelluksilla 3D-mallina.
Materiaali	on määrätieto, jolla on paikkasidonnaisuus.

Määrä	on ominaisuustietoa, joka kuvaa hankkeen rakennus- tai hankeosan kumulatiivista lukumäärää.
Määrälaskenta	on laskentaprosessi, joka tuottaa hankkeen suunnitellut kokonaismäärät.
Päällysrakenne	on radan rakenneosaa, johon kuuluu tukikerros ja raide.
Raidekilometri [Raidekm]	on nimetty radan määramittainen osuus. Sen pituus on kahden peräkkäisen kilometripylvään välimatka raidetta pitkin. Pituus voi poiketa 1000 metristä.
Raiteen keskilinja [KL]	on matemaattinen linja, jonka etäisyys nimellismittaisessa raiteessa on sama molempien kiskojen kulkureunasta mitattuna.
Raiteen korkeusviiva [KV]	on matemaattinen viiva, joka määrittelee raiteen korkeuden aluslevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla.
Takymetri	on mittauskoje, joka mittaa säteisesti pisteiden sijaintia kojeeseen nähden.
Tarkistusmittauspiste	on mittamiehen keräämä havaintopiste.
Tietomalli	on 3D-malli, joka esittää kohteen visuaalisesti ja sisältää kohteen metatietoa.

Toteumapiste

on työkoneautomaatiolla varustetun työkoneen keräämä havaintopiste.

Tukikerros

on rakenneosaa, joka pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa.

3D-Win

on suomalainen maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto.

1 JOHDANTO

Tietotekniikan nopea kehittyminen on luonut mahdollisuuksia kehittää uusia toimintatapoja infra-alalla tehtävään suunnitteluun ja rakentamiseen. Tietomallipohjainen suunnittelu ja siihen perustuva inframallintaminen on ollut jo jonkin aikaa käytössä tierakentamisessa ja sen käyttö myös radanrakentamisessa on luonnollinen jatkumo kehitykselle. Infra-alan suuret tekijät muodostivat kehittämishankkeen nimeltä InfraFINBIM, jonka tarkoituksena oli kehittää inframallinnusta. Kehittämishankkeen tavoitteena oli, että kaikki infra-alan toimijat tilaavat vain tietomallipohjaisia palveluja vuoden 2014 alusta alkaen. Alan muutos tapahtuu hitaasti, mutta varmasti. Kehittämishankkeen lopputuloksena syntyivät avoin tiedonsiirtoformaatti, yleiset inframallivaatimukset sekä InfraBIM-nimikkeistö.

Liikennevirasto julisti, että tulee 1.5.2014 eteenpäin tilaamaan kaikille tuleville hankkeille vain tietomallipohjaista suunnittelua. Tämä tarkoittaa sitä, että perinteinen paperi suunnitelmiin pohjautuva radanrakentaminen poistuu lähitulevaisuudessa tietomallipohjaisen suunnittelun ja rakentamisen tieltä. Mallipohjaisella työmaalla työkonet on varustettu koneohjausjärjestelmällä ja työskentely tapahtuu koneohjausmallin mukaan. Kyseessä on uusi rakentamistapa, joka vaatii sitoutumista ja uuden tiedon oppimista aina työnjohdolta aliurakoitsijoihin. (InfraBIM 2014.)

Radanrakennus hankkeet ovat olleet kauan kokonaishintaurakoita, joissa urakoitsija sitoutuu tekemään sovitun työn tilaajalle kiinteään kokonaishintaan. Osa rakennusmateriaaleista on vastaavalla urakalla jo laskettu mukaan tarjoukseen ja urakoitsijan tehtävä on huolehtia, että materiaalmäärät on laskettu oikein ja ne riittävät tai urakoitsija joutuu maksamaan lisätilattavan materiaalin. Tietomallipohjaisen suunnittelun myötä yksikköhintaiset urakat tulee lisääntymään ja tarve tarkemmalle määrätiedolle lisääntyy urakoiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Yksikköhintaisessa urakassa työn tilaaja maksaa korvausta jokaisesta eri työsuoritteesta etukäteen sovitun kiinteän

yksikköhinnan mukaan. Kyseisellä hankkeella taloudelliset riskit ovat olemassa, koska urakoitsijan tulos on kiinni poistettavassa ja täytettävässä materiaalissa.

Teoreettiset poistettavat rakennusmateriaalit lasketaan tilaajalta saaduista lähtötiedoista, kuten maastomallista, radan geometriasta ja poikkileikkauskuvista. Nämä teoreettiset määrätiedot yhdessä työ kustannusten kanssa muodostavat tilaajalle lähetettävän tarjouksen. Lähtötiedoista tehdään rakentamisvaiheen koneohjausmallit, joiden avulla automaatiotyökoneet suorittavat leikkaustyöt. Toteutuneet määrätiedot lasketaan työkoneiden ottamien toteumapisteiden mukaan, mutta tarvittaessa toteumapisteitä täydennetään tarkistusmittauksilla.

Materiaalimäärien seuranta tehdään radanrakentamisurakoilla seuraamalla kuorma-autojen ja muiden työkoneiden kuljetuskapasiteettia. Hankkeet ovat olleet kokonaishintaurakoita, joten tämän tarkempaa seuranta ei ole tarvinnut tehdä, ellei siitä erikseen ole tilaajan kanssa sovittu. Mittausryhmän mittauksiin tukeutuvaa seuranta on käytetty hyvin vähän rakentamisvaiheessa, mutta sen tarve tulee lisääntymään tulevaisuudessa yksikköhintaurakoiden myötä. Tuloksen tekeminen yksikköhintaisella urakalla pohjautuu onnistuneeseen materiaalityörien seurantaan. Mittauksia on käytetty rakentamisvaiheessa laadunvalvontaan, kaivuutyön seuraamiseen ja viimeistelytyöhön.

Tämän työn tarkoitus on esitellä tietomallipohjaista infrarakentamista sekä väylärakenteen toteutusmallien tekoon liittyvät ohjeet. Työssä esitellään maastomallilta vaadittava tarkkuus infrahankkeen mallintamiseen. Työn johtopäätöksissä pohditaan aiheen nykytilan ongelmia ja minkälaisista voisi tulevaisuuden ratarakentaminen olla.

Opinnäytetyön tavoite on selvittää materiaalityörien seurantaprosessi mallipohjaisella radanrakentamisurakalla. Tavoitetta varten työssä tutkitaan miten Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen -hankkeella seuranta toteutettiin ja mitä lähtötiedoille tehtiin ennen kuin niitä voitiin käyttää

mallipohjaisessa määrälaskennassa. Lisäksi työssä kuvaillaan, miten mallintamista muuten hyödynnettiin hankkeella.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä hyödynnetään Destian henkilökuntaa ja Destia Rail Oy:n urakoiman Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen -hankkeen lähtötietoja ja mittausaineistoja. Myöhemmin hankkeeseen viitataan Kemijärvi hanke -nimellä. Mittausaineistot koostuvat leikkauspohjan toteumapisteistä ja tarkistusmittauksista. Lähtötiedot koostuvat geometriasta, poikkileikkauskuvista ja maastomalliaineistosta.

2 TYÖKONEAUTOMAATIO

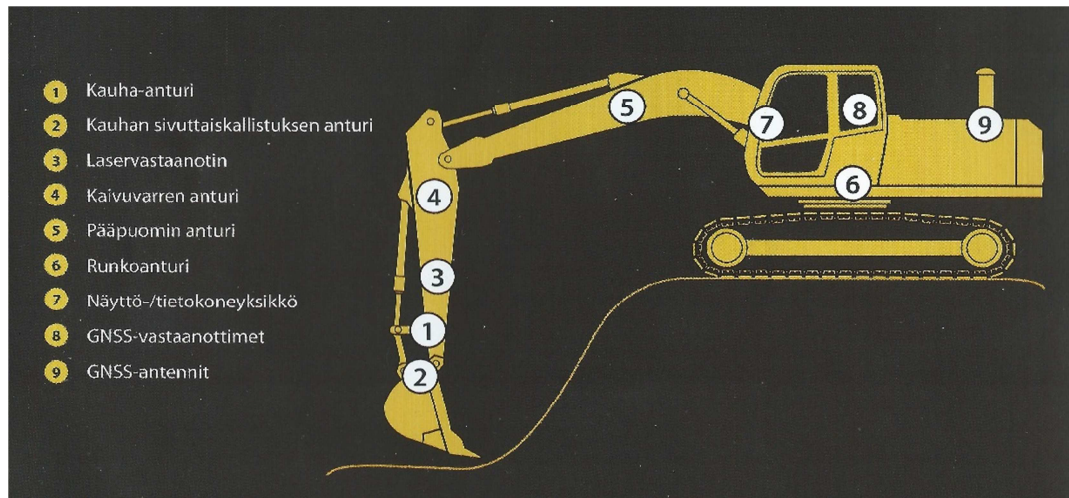
2.1 Työkoneohjaus

Työkoneohjausta käytetään radanrakentamisurakoilla pohjarakenteiden, luiskien ja ojien perkausten tekemiseen. Radanrakentaminen poikkeaa perinteisestä maarakentamisesta sen tiukempien tarkkuusvaatimusten takia, koska rakentamisessa on kyse senttimetreistä. Työkoneohjausta hyödyntävällä työmaalla ei käytetä mittakeppejä, koska työkoneet on varustettu paikannuslaiteilla, anturijärjestelmällä sekä tietokoneella, johon työmaasuunnitelmat tuodaan digitaalisessa muodossa. (Leskelä 2013, 14–15; Snellman 2014, 3.)

Työkoneen kuljettaja voi työskentelyn aikana seurata kolmiulotteisesta koneohjausmallista reaaliaikaista sijaintiaan työmaalla sekä kauhan sijaintia tavoitetasoon nähden. Tämä vähentää mittamiehen tehtäviä työmaalla, koska kaivuutyötä ei tarvitse enää jatkuvasti seurata mittamiehen toimesta. Työkoneen kuljettaja suorittaa toteumamittausta työn edetessä ja havainnot siirtyvät Infrakit-sovellukseen. Työnjohto voi seurata sovelluksella työmaan edistymistä muutaman minuutin viiveellä. Jotta työkoneiden työn laatuun voidaan luottaa, tehdään työkoneille kalibrointimittauksia viikoittain ja mittaukset kirjataan mittauspöytäkirjaan. Työmaan tukiasemille tehdään vastaavat kalibrointimittaukset, joilla varmistetaan tukiaseman stabiilisuus. (Infrakit 2014, 2; Nurminen 2011, 7; Snellman 2014, 3.)

2.2 Työkoneohjauslaitteisto

Työkoneohjauslaitteistoon kuuluvat paikannuslaitteisto, kauhan, puomiston ja rungon liikkeitä mittaavat anturit sekä tietokoneyksikkö. Kuviossa 1. esitetään kaivinkoneen työkoneohjauslaitteisto.



Kuvio 1. Työkoneohjauslaitteisto (Novatron 2014)

Työkoneen sijainnin selvittämiseen käytetään kahta tapaa, joko satelliittipaikannusta tai takymetrillä tehtävää paikannusta. Kun tiedetään kaikkien liikkuvien osien sijainti koneeseen nähden ja koneen oma sijainti työmaalla, saadaan työkoneesta tarkka mittalaite. Tutkimusten mukaan järjestelmällä voidaan saavuttaa 1–3 senttimetrin tarkkuus. Antureiden ja sijaintivastaanottimien keräämä tieto yhdistetään ja työkoneen tietokone vertaa tietoa koneohjausmalliin. Tietokone käsittelee tiedon ja näyttää työkoneen reaaliaikaisen sijainnin työmaalla sekä korkoeron tavoitetasoon (Kuvio 2). Tätä kutsutaan opastavaksi järjestelmäksi, jossa työkoneen kuljettaja hallitsee kaikki koneen liikkeit. (Jaakkola 2010, 4; Novatron 2014.)



Kuvio 2. Työkoneohjauksen käyttöliittymä (Novatron 2014)

Satelliittipaikannukseen perustuvan paikannuksen suosio on lisääntynyt selvästi, kun nykYTEKniikka on mahdollistanut sille huomattavasti paremman tarkkuuden. Satelliitit kiertävät maapalloa yli 21 000 kilometrin korkeudessa ja signaalin pitkän kulkumatkan vuoksi paikannuksessa on virheitä, joita korjataan asentamalla fyysisiä tukiasemia työmaa-alueelle. Tukiasema orientoidaan takymetrin avulla työmaan koordinaatistoon. Tukiasema laskee tunnetun pisteen ja satelliittien avulla mitattujen koordinaattien eroja ja lähettää radiolinkin avulla korjaustietoja työkoneen vastaanottimeen. Kuviossa 3. on Kemijärvi-hankkeella käytetty GNSS-tukiasema. (Topgeo 2014.)



Kuvio 3. GNSS-tukiasema Kemijärvi-hankkeella (Kemijärvi-hanke 2014)

2.3 Mittausperusta

Mallipohjaisella työmaalla tukiasemat pystytetään mittausperustan mukaan. Mittausperustalla tarkoitetaan radan varteen sijoitettavia taso- ja korkeuskiintopisteitä, joiden perusteella kaikki radalla olevat kohteet mitataan. Tarkkuusvaatimuksena mittausperustalle on uuden raiteen aseman tarkkuusvaatimukset. Kun mittausperusta on tarpeeksi tarkka raiteen aseman mittaamiseen, soveltuu se käytettäväksi kaikkien muidenkin rakenteiden mittaamisessa. Ilman riittävän tarkkaa, homogeenista ja stabiilia mittausperustaa ei saavuteta laatuvaatimusten mukaista asemaa raiteelle. (Liikennevirasto 2010, 63; Liikennevirasto 2011a, 11.)

Taulukosta 1. huomataan, että uuden raiteen tarkkuusvaatimukset ovat riippuvaisia sallitusta nopeudesta sekä käytettävästä kiskotuksesta. Raiteen aseman tarkkuusvaatimukset osoittavat rajat uuden raiteen asemalle ja mittausperustan laadulle. Poikkeamat raiteen asemassa todetaan aina maaston mittausperustalta tehtyjen mittausten ja suunnitellun geometrian erona.

Taulukko 1. Uuden raiteen tarkkuusvaatimukset (Ratahallintokeskus 2006, 46–47)

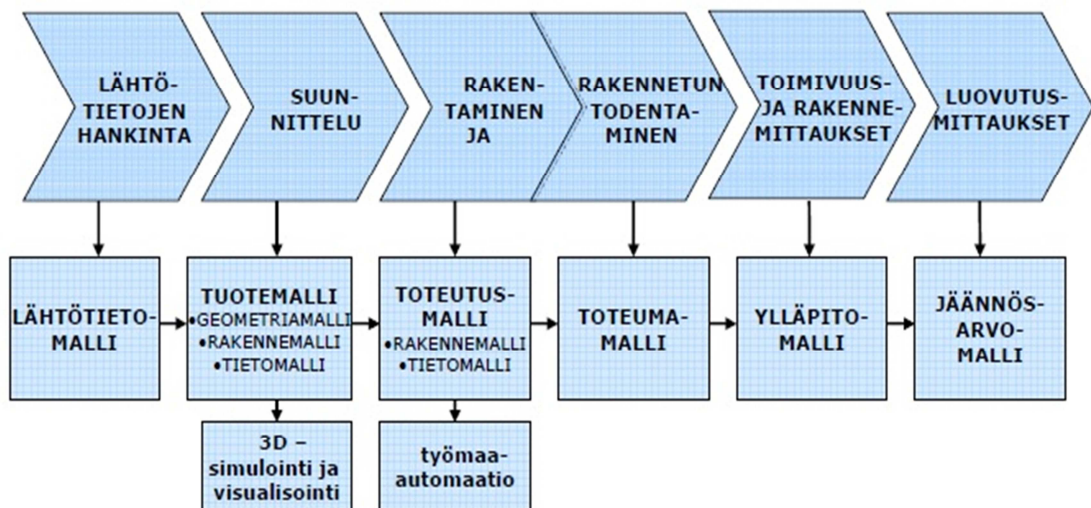
Uuden raiteen korkeusaseman vaatimukset		
Suurin sallittu nopeus V_{\max} [Km/h]	Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jatkuvakiskoraide	Lyhytkiskoraide
$120 < V_{\max} \leq 220$	+10 - (-20)	-
$V_{\max} \leq 120$	+10 - (-30)	+20 - (-50)

Uuden raiteen vaakasuuntaisen aseman vaatimukset		
Suurin sallittu nopeus V_{\max} [Km/h]	Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jatkuvakiskoraide	Lyhytkiskoraide
$120 < V_{\max} \leq 220$	+/-20	-
$V_{\max} \leq 120$	+/-30	+/-50

3 TIETOMALLIPOHJAINEN INFRARAKENTAMINEN

3.1 Tietomalli infra-alalla

Tietomalli tarkoittaa infra-alalla digitaalisessa muodossa olevan infrarakenteen tietojen kokonaisuutta koko hankkeen elinkaaren ajalta. Kuviossa 4. esitellään infrarakenteen tietomallin elinkaari. Ideaalitapauksessa voitaisiin yhden mallin avulla hallinnoida hanketta suunnittelusta toteutukseen ja kunnossapitoon. Infra-alalla tietomallintamista kutsutaan inframallintamiseksi. Tiedon kolmiulotteinen mallintaminen auttaa ihmistä havainnollistamaan kokonaisuutta paremmin ja tästä on kyse tietomallintamisessa. Perinteisen suunnittelun ongelma on, että tietoa voi tulkita vain ihminen. Nykyiset tietokoneohjelmat pystyvät tulkitsemaan tietomalliin tallennettua tietoa, kun se on oikein jäsenneltyä ja nimettyä. Yleinen englanninkielinen termi tietomallille on BIM (Building Information Model), joka samalla tarkoittaa myös tietomallipohjaista toimintaa (Building Information Modelling). (Liikennevirasto 2014, 8; Rakennustieto 2010, 4–5; RIL 2014.)



Kuvio 4. Infrarakenteen tietomallin elinkaari (Mäkelä 2006, 26)

3.1.1 Lähtötietomalli

Tietomallinnusprosessi aloitetaan kokoamalla lähtötiedot lähtötietomalliksi. Lähtötietomalli luodaan rakennuspaikalta tehtyjen maastomallin,

maaperämallin, olemassa olevien rakenteiden, kartta- ja paikkatietoaineiston sekä viiteaineiston pohjalta. Mallintamisen lähtötietoja voidaan kerätä useilla eri mittausvälineillä, mutta pitkien väylärakenteiden maastomallin mittaamiseen käytetään laserkeilausta ja ilmakuvauksia. Mittauksia täydennetään tarvittaessa takymetri- tai GPS-mittauksin. Lähtötietomallia hyödynnetään eri käyttötarkoituksiin koko hankkeen elinkaaren ajan. (Liikennevirasto 2011b, 18–19; Virtanen & Liukas 2014, 6.)

Tässä työssä tutustutaan lähtötietomallin sisällöstä tarkemmin maastomalliin. Erityisesti maastomallilta vaadittavaan tarkkuuteen tietomallintamisessa. Maastomalli on lyhyesti sanottuna kolmiulotteinen malli, jolla kuvataan olemassa olevan maaston ja rakennetun ympäristön korkeussuhteita. Maastomalli sisältää maaston korkeussuhteet jatkuvina pintoina ja korkeuspisteiden sijaintitiedot. (Laurila 2012, 265–266.)

3.1.2 Tuotemalli

Lähtötietomallin perustalta luodaan suunnittelumalli, jonka pohjalta tehdään malli/ohje hankkeen toteutukseen eli niin sanottu kolmiulotteinen tuotemalli. Tuotemallia voidaan kutsua inframalliksi tai InfraBIMiksi (Infrastructure Built Environment Information Model). Suunnittelumallin sisältö on jaoteltu eri suunnitteluvaiheiden mukaan yleissuunnitelmaksi, ratasuunnitelmaksi ja rakennussuunnitelmaksi. Yleissuunnitelma on pelkistetty malli hankkeesta ja siinä esitellään väylän geometriaa, väylän tilavarausta ja väylän sovittamista ympäristöön. Ratasuunnitelmassa hankkeen pysty- ja vaakageometriat mallinnetaan sillä tarkkuudella, että rata-alue voidaan määrittää ja tarvittavat väyläalueet lunastaa. Mallinnustarkkuus on riippuvainen ympäristön rakenteista ja suunnitellusta hankkeesta. (Liikennevirasto 2014, 23–25; Rakennustieto 2010, 5.)

Rakennussuunnitelmavaiheessa mallinnetaan kaikki hankkeen toteutukseen tarvittavat väylän osat, joihin palataan myöhemmin tässä työssä. Rakennussuunnitelman malli toimii urakkakyselyn lähtökohtana ja

rakentamisasiakirjana. Rakentamissuunnitelman mallin pohjalta urakoitsija tekee rakenteen toteutusmallin, joko käyttämällä rakennussuunnittelu mallia suoraan tai muokkaamalla sitä omaan käyttöön sopivaksi. (Liikennevirasto 2014, 25.)

Lähtötietomallista ja valmiista suunnittelumallista kootaan yhdistelmämalli, jota voidaan tarkistella 3D-navigoinnilla. Tämä helpottaa suunnittelun mallin havainnollistamista ja tarkistamista. Yhdistelmämallilla voidaan tarkistaa eri suunnitelmien yhteensopivuutta jo olemassa olevien rakenteiden kanssa ja löytää puutteita tai ongelmakohtia. (Liikennevirasto 2014, 31–32.)

3.1.3 Toteutusmalli

Yhdistelmämallista tai suoraan tuotemallista jalostetaan toteutusmalli, jota käytetään rakentamisen ohjaukseen. Toteutusmallia käytetään hyväksi rakentamissuunnittelussa ja siitä poimitaan erilaisia koneohjausmalleja automaatiotyökoneiden käyttöön. (Snellman 2014, 3.)

Koneohjausmalli ohjaa työkoneen kuljettajaa koneohjausjärjestelmän avulla. Kuljettaja rakentaa suoraan koneohjausmallin mukaan ja näkee käyttöliittymästä oman reaaliaikaisen sijainnin suhteessa malliin. Toteutusmallista tehty koneohjausmalli on siis rakentamisvaiheen määräävä malli, jonka mukaan väylärakennelma toteutetaan. Työkoneen kuljettajaa ohjeistetaan keräämään toteumapisteitä tehdystä työstä. (Snellman 2014, 3.)

3.1.4 Toteumamalli

Toteumamallia tehdään rakentamisen aikana ja sinne päivitetään työkoneiden kuljettajien keräämät toteumahavainnot sekä mittamiesten tarkistusmittaukset. Päivitystarpeita tulee tiedoista, joita ei suunnitteluvaiheessa vielä voida mallintaa täydellisenä. Vastaavia kohteita ovat esimerkiksi kalliopinnan todellinen sijainti sekä työmaalla hyväksytyt muutokset suunnitelmamalliin. (Liikennevirasto 2014, 33)

Toteumamallista nähdään mitä on rakennettu ja mallia voidaan kutsua ”as-built”-malliksi. Mallin avulla voidaan verrata toteutunutta rakennelmaa suunniteltuun ja sitä käytetäänkin osoittamaan, että rakennelma täyttää geometriset vaatimukset. (Palviainen 2014, 3.)

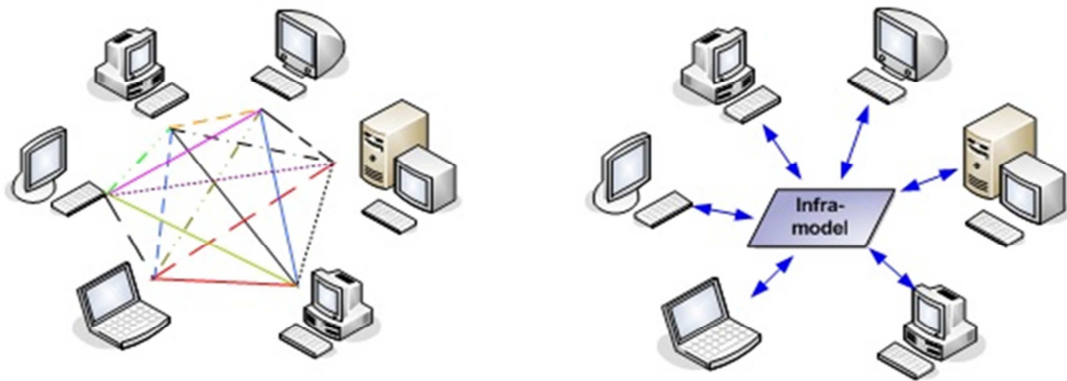
3.1.5 Ylläpitomalli

Valmiin toteumamallin avulla luodaan hankkeelle ylläpitomalli, johon kirjataan rakenteen kuntotiedot. Ylläpitomallia hyödynnetään rakenteen kunnossapidossa ja sitä voidaan käyttää lähtötietona rakenteen tulevassa suunnittelussa. Lopputilanne hankkeesta voidaan vielä mitata tarkemmin esimerkiksi raiteiden tarkistusmittauksessa ja koota mittaustuloksista jäännösarvomalli. (Marttinen 2014, 4.)

Ylläpitomalli kootaan erilaisista tietovarastoista ja tietorekistereistä. Hankkeen toteutuksen aikana kerätään paljon metatietoa ylläpitomallia varten. Oleellisinta tätä mallia tehdessä onkin, että tietovarastoja päivittää aina uusimmalla tiedolla. Jos hankkeen aikana kerätty metatieto kerätään yhteen tietovarastoon, voidaan ylläpitomalli luoda vaivattomasti. (Marttinen 2014, 4–5.)

3.2 Inframodel-menetelmä tiedonsiirtoon

Tiedonsiirtäminen eri suunnitteluvaiheiden välillä on iso osa inframallintamisen elinkaarta, koska kaikki suunnittelutieto liikkuu tietomallien kautta. Jotta tiedonsiirtämisestä saadaan mahdollisimman tehokasta, täytyy sitä varten olla yhteiset säännöt ja ohjeet. Inframodel-menetelmä sai alkunsa vuonna 2001, kun Inframodel-hanke käynnistettiin Tekesin Infra-teknologiaohjelmassa. Hankkeen tarkoitus oli kehittää tiedonsiirtoa erityisesti infra-alan suunnittelujärjestelmien välillä yhtenäistämällä tiedonsiirtoformaatteja. Hankkeessa kehitettiin Inframodel-menetelmä, jonka avulla rakennushankkeen parissa työskentelevät henkilöt voivat tehdä muutoksia samaan malliin ilman formaattimuunnoksia (Kuvio 5.). (Junnonen 2009, 45-46.)



Kuvio 5. Perinteisen suunnittelun ja tietomallipohjaisen suunnittelun ero tiedonsiirrossa (Rakennustieto 2010, 6)

Tiedonsiirtoformaatin kehittäminen jatkui myöhemmin Inframodel 2 -hankkeessa, joka toimi vuosina 2005–2006. Tarkoituksena oli kehittää suunnitelmatietojen tiedonsiirtoa tehokkaammaksi käytössä olevien suunnittelujärjestelmien välillä. Inframodel 2 -hankkeessa oli mukana eri suunnittelujärjestelmätoimittajat, joita pyydettiin kehittämään Inframodelin kuvauksia. Kun tiedonsiirtoa ja vuorovaikutusta saatiin parannettua, voitiin suunnittelussa keskittyä itse suunnittelutyöhön. (Kajanen 2006, 5,8–9.)

Inframodel on avoin dokumentoitu tiedonsiirtomenetelmä tietomallipohjaisessa suunnittelussa ja rakentamisessa. Avoin formaatti ei ole sidoksissa mihinkään ohjelmistoalustaan, mikä mahdollistaa sen käytön jokaisella editointiohjelmalla. Inframodel-menetelmä pohjautuu LandXML-standardiin ja se avautuu selaimella tai tekstieditorilla. Standardi esittää tietosisällön kokonaisuuksia, mitkä voidaan esimerkiksi jäsenellä seuraavasti: suunnitelman yleistiedot, perusaineistot, liikenneväylät, vesihuoltoverkostot, aluesuunnittelu ja pohjanvahvistus. (Kovalainen & Liukas 2013, 3–6.)

Inframodelin uusin versio on Inframodel 3 -formaatti, joka perustuu LandXML-versioon 1.2, kun taas aikaisempi Inframodel 2 -formaatti perustui versioon 1.0. Inframodel3 -formaatti on luotu PRE-tuotimusohjelman InfraBIM -kehityshankkeessa. Uudessa Inframodel 3 -formaatissa on uusia tietokokonaisuuksia, kuten rata, varusteet ja nimikkeistö sekä ominaisuudet.

Inframodel 3 -formaatti on otettu käyttöön Liikennevirastossa 1.5.2014 ja Liikennevirasto vaatii formaatin käyttöä kaikissa suunnittelu- ja rakentamishankkeissa. Tiedonsiirtoformaatin kehitystyöstä ja ylläpidosta vastaa BuildingSMART Infra-toimitilaryhmä. (InfraBIM 2014; Kovalainen & Liukas 2013, 5–6.)

LandXML-standardi on kansainvälinen infran suunnittelutiedon siirtämiseen tarkoitettu standardi ja sitä kehittää sekä ylläpitää voittoa tavoittelematon LandXML.org. LandXML kuvaa tiedon hierarkkisenä puurakenteena, johon se pystyy sisällyttämään yli 200 elementtiä. Näistä Inframodel-menetelmä hyödyntää noin 50:tä ja siihen on myös lisätty joitakin suomalaisessa infrarakentamisessa tarvittavia rakennelaajuuksia. Hierarkkinen tietojen kokoaminen tarkoittaa ylemmän tason elementtien ja määreiden arvojen siirtymistä alemmalla tasolla oleville elementeille ja määreille. Kuviossa 6. on esitetty hierarkkinen tiedon kokoaminen LandXML-standardissa. (Junnonen 2009, 48.)

```
- <Spiral length="110.000000" staStart="1172.193682" rot="cw" spiType="clothoid" radiusEnd="600.000000" radiusStart="INF" constant="256.905">
  <Start>7402927.909115 27518813.485248</Start>
  <PI>7402930.867804 27518886.791203</PI>
  <End>7402928.985106 27518923.438909</End>
</Spiral>
- <Curve length="211.300582" staStart="1282.193682" chord="210.210360" radius="600.000000" rot="cw">
  <Start>7402928.985106 27518923.438909</Start>
  <Center>7402329.775293 27518892.655787</Center>
  <End>7402881.591818 27519128.237033</End>
</Curve>
- <Spiral length="95.000000" staStart="1493.494264" rot="cw" spiType="clothoid" radiusEnd="INF" radiusStart="600.000000" constant="238.747">
  <Start>7402881.591818 27519128.237033</Start>
  <PI>7402869.150937 27519157.378078</PI>
  <End>7402839.745826 27519213.494797</End>
</Spiral>
```

Kuvio 6. Kokonainen kaari kuvattuna LandXML-standardissa. (Kemijärvi-hanke 2014)

LandXML-standardia luetaan ylhäältä alaspäin ja ylempi elementti vaikuttaa aina alempaan elementtiin. Kuviossa 6. on kuvattu LandXML-muodossa geometrian klotoidi-kaari-klotoidi elementti. Kuviossa 7. on kuvattu sama klotoidi-kaari-klotoidi elementti perinteisessä VGP-formaatissa, jota luetaan myös ylhäältä alaspäin. Kuvien selvä ero on, että LandXML-muodossa

elementit on annettu paremmalla tarkkuudella kuin VGP-formaatissa. Elementtien pituudet eivät suoraan näy VGP-formaatissa vaan ne täytyy itse laskea pituusmittaraiteen avulla, kun taas LandXML-muodossa pituus on Spiral/Curve length. LandXML-muotoa luettaessa voidaan heti tulkita mitä arvoja luvut kuvaavat, kun VGP-formaatissa arvot kuvataan vain elementteinä. VGP-formaattia on lisäksi vaikeampi tulkita, koska siinä näkyy vain numerosarjoja allekkain.

ELEM	14	0	4	0.000	600.000	256.905
ELEMP1	14	1172.194	7402927.9091	27518813.4852		
ELEMP2	14	1282.194	7402928.9851	27518923.4389		
ELEM	15	0	3	600.000	600.000	0.000
ELEMP1	15	1282.194	7402928.9851	27518923.4389		
ELEMP2	15	1493.494	7402881.5918	27519128.2370		
ELEMCP	15	7402329.7753	27518892.6558			
ELEM	16	0	4	600.000	0.000	238.747
ELEMP1	16	1493.494	7402881.5918	27519128.2370		
ELEMP2	16	1588.494	7402839.7458	27519213.4948		

Kuvio 7. Kokonainen kaari kuvattuna VGP-formaatissa (Kemijärvi-hanke 2014)

3.3 Inframallintamisessa käytettävän maastomallin tarkkuus

Tässä luvussa esitellään ratahankkeen mallintamisessa tarvittavan maastomallin tarkkuusvaatimukset sekä käyttötarkoitukset. Ratahankkeella käytetään tarkkaa maastomallia radan vaaka- ja pystygeometrian suunnitteluun, rakenteiden mallintamiseen, kuivauksen suunnitteluun, lunastettavan rata-alueen määrittämiseen sekä määrälaskentaan. Tarkan maastomallin tarkkuusvaatimukset on lueteltu Liikenneviraston ohjeessa Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. (Liikennevirasto 2011b, 15.)

Tarkkuusmäärittelyssä tarkan maastomallin yksikäsitteisten kohteiden mittausrvirhe saa olla enintään 50 millimetriä. Vaadittava tarkkuus koskee kaikkia pistemäisiä kohteita ja viivamaisten kohteiden taitepisteitä. Korkeuden osalta vaatimus koskee kohteita, joiden korkeus voidaan yksiselitteisesti määrittää. Maastomallissa maanpinnan korkeuden interpoloinnin keskivirhe saa olla enintään sata millimetriä. Interpolointitarkkuus määrää taiteviivojen ja

hajapisteiden pistetiheyden maastomallissa, mutta pisteväli ei kuitenkaan saa ylittää yli 10 metriä. (Liikennevirasto 2011b, 15.)

Raiteen kartoitukselle on omat tarkkuusvaatimukset. Radan KL:n ja KV:n taso- ja korkeuskoordinaattien maksimivirheeksi on annettu +/- 20 millimetriä, jolloin mittauksen keskivirhe saa olla enintään 8 millimetriä suhteessa lähimpiin mittausterustan pisteisiin. KV:n ja KL:n mittaaminen tapahtuu takymetrillä ja ne voidaan mitata samanaikaisesti. Huomioitavana on, että kaarteissa ja klotoidissa mitataan kaarteiden sisempää kiskoa. Muuten kartoituksen johtokiskona käytetään oikeanpuoleista kiskoa, kun mitataan kasvavaan ratakilometrisuuntaan. Raiteen kartoitus tehdään jonomittauksena, joka suljetaan mittausterustaan. Pistevälinä käytetään 40 metriä suorilla ja 20 metriä kaarteissa. (Liikennevirasto 2011b, 19.)

Mitatulle aineistolle tehdään myöhemmin editointi, jossa eri mittaustavoilla tuotettu aineisto yhdistetään ja muodostetaan sekä eheä että laatuvaatimukset täyttävä aineisto. Editoinnissa tehdään maanpinnan hajapisteiden määrittäminen, jossa mittaustavoitetta harvennetaan niin, että saavutettava pistetiheys on järkevä. Sopiva pistetiheys on riippuvainen maanpinnan muodoista, mutta tyypillinen pisteväli on noin 3 metriä. Kun pisteväliä harvennetaan, tulee muistaa edellä mainitut tarkkuusmäärittelyt. (Liikennevirasto 2011b, 20.)

Tärkeintä maastomallin mittaamisessa on käyttää siihen tarkoitettua koodistoa sekä muistaa mitata luonnontaitteet taiteviivana ja hajapisteillä merkitä vain korkeuspisteitä. Tämä vähentää huomattavasti editointiin tarvittavaa työmäärää.

3.4 Yleiset inframallivaatimukset

Tarve Yleisille inframallivaatimuksille syntyi, kun infra-alan suuret toimijat ilmoittivat tavoitteesta siirtyä tietomallintamiseen. Hankkeen tilaajalla ja rakentajalla täytyy olla yhteinen näkemys siitä mitä mallinnetaan ja miten se mallinnetaan. Yleiset Inframallivaatimukset koostuvat mallintamisohjeista ja -

vaatimuksista tarkkuudelle ja sisällölle. Yhdessä ne toimivat pelisääntöinä rakentamisurakoilla suunnittelusta toteutukseen. (InfraBIM 2015a.)

Yleiset inframallivaatimukset on tarkoitus julkaista 5.5.2015 Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finlandin (bSF) toimesta. Vaatimuksia kehiteltiin omana hankkeenaan, jonka jälkeen niitä testattiin eri pilottihankkeilla. Vaatimuksia päivitettiin pilottihankkeilta kerätyillä kommentteilla ja huomioilla. Yleisiä inframallivaatimuksia ylläpidetään ja kehitetään bSF:n päätoimikunnan Infra toimialaryhmän toimesta. (InfraBIM 2015a.)

InfraTM –hanke käynnistyi vuonna 2009 ja hanke päättyi vuonna 2014. Hankkeessa kehitettiin mallinnusohjeet ja infra-alan nimikkeistöä laajennettiin tietomallintamista tukevaksi. Hanke teki tiiviisti yhteistyötä RYM Oy:n (Rakennetun ympäristön strateginen huippuosaamisen keskittymä) PRE (Built Environment Process Re-engineering) tutkimusohjelman kanssa, jossa yhden hankkeen (InfraBIM -kehityshanke) tarkoituksena oli tietomallipohjaisen infra-alan kehittäminen. (InfraBIM 2015b; RYM 2015.)

InfraBIM -kehityshanke käynnistyi vuonna 2010 ja työ saatiin päätökseen vuonna 2013. Kehityshanke koostui 15 yrityksen tutkimusohjelmasta ja se oli suomen infra-alan suurimpia kehityshankkeita. Hankkeen visiona oli, että vuonna 2014 suuret infra-alan yritykset tilaavat vain tietomallipohjaista palvelua. Vision toteutumista edesauttoi Liikenneviraston sitoutunut läsnäolo. Kehityshankkeen tehtäviin kuului myös InfraTM -hankkeessa valmistettavat InfraBIM-mallinnusohjeiden laatiminen ja vaatimusten kehittäminen. (RYM 2015.)

PRE-tutkimusohjelma ja InfraBIM -kehityshanke ovat päättyneet ja niistä saadut tulokset julkistettu. Tuloksista käy selväksi, että mallintaminen tuottaa selkeää parannusta rakentamisen laatuun, tuottavuuteen ja asiakaspalveluun. Merkittävimmät tulokset hankkeista ovat kuitenkin avoin tiedonsiirtoformaatti ja mallinnusohjeet sekä -vaatimukset (RYM 2014.).

3.5 Toteutusmallin sisältö ja vaatimukset väylärakenteessa

InfraBIM -kehityshankkeessa on tuotettu Väylärakenteen toteutusmallin laatimisohteen luonnosversio, jossa on määritelty tuottamisohteen väylärakenteen eri rakennepintojen toteutusmalleille. Laatimisohteen mukaan väylärakenteita ovat tie-, katu- ja rataväylät ja tässä luvussa esitellään rataväylän toteutusmallin laatimisohteen. Tuottamisohteen on tavoitteena yhdenmukaistaa rakennussuunnitteluvaiheessa tuotettuja toteutusmalleja. Yhdenmukaisia toteutusmalleja voisi tulevaisuudessa soveltaa suoraan automaatiotyökoneissa. Väylärakenteen toteutusmalli koostuu kolmiulotteisten rakennepintojen kokonaisuuksista, jotka rakentuvat nimetyistä taiteviivoista ja kolmioverkkomalleista. Infra 2006 rakennusosa- ja hankenimikkeistön mukaan rakenneosat ovat:

- 1400 Pohjarakenteet
- 1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot
- 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
- 2100 Päällysrakenteen osat
- 2400 Ratojen päällysrakenteet

(Snellman 2014, 3; InfraBIM 2012, 7)

Ohteen mukaan kaikki kohteen rakennusosat, joissa voidaan hyödyntää työkoneautomaatiota, tulee mallintaa rakennussuunnitteluvaiheessa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että myös kaikki rakentamisessa tarvittavat pinnat mallinnetaan. Rakennekerroksista ja pengerrakenteista mallinnetaan rakenneosan yläpinta, kun taas leikkauksista ja kaivannoista mallinnetaan alapinta. Jokaisesta rakennepinnasta tehdään oma toteutusmalli ja kaikki rakennepinnat yhdessä muodostavat toteutusmallin. Rakennepinnat muodostuvat taiteviivojen väliin. Mallinettavat rakennepinnat ovat esitelty liitteessä 1. (Snellman 2014, 5, 10.)

Mallinnettavia taiteviivoja ovat alustavasti vain ne viivat, joiden kohdalla on rakennepinnassa taitekohta tai viiva on muulla tapaa merkityksellinen. Väylän geometrialinjan kohdan taiteviiva mallinnetaan aina, vaikka väylän keskellä ei olisi taitetta. Taiteviivat mallinnetaan jatkuvina eikä niitä saa olla päällekkäin samalla rakennepinnalla. Parempi tulos saadaan, jos taiteviivat ovat väylärakenteen geometrialinjan kanssa samansuuntaisia. Jos edellä mainittuja vaatimuksia ei huomioida tai taiteviiva-aineistossa on aukkoja, eivät rakennepinnat voi kolmioitua oikein ja toteutusmallia ei voi suoraan käyttää automaatiotyökoneessa. Mallinnettavat taiteviivat ovat esitelty liitteessä 2. (Snellman 2014, 6–10.)

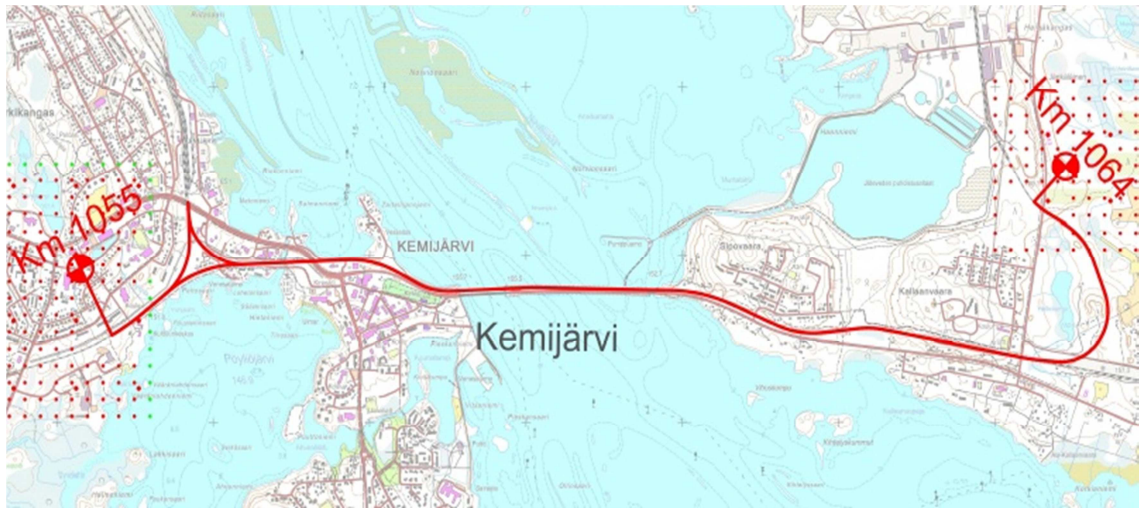
Geometrialinja ei saa olla yli 10 metriä eikä linjan taiteviiva saa poiketa laskennallisesta paikasta yli 3 millimetriä. Koska taiteviiva on aina viivamaista eikä sitä voi tehdä pyöristäen, tulee tämä huomioida sen piirtämisessä. Kaarteissa ja klotoideissa tihennetään geometrialinjan pisteväliä käyttäen minimipituutena 0,5 metriä. Muiden taiteviivojen enimmäispituus on suhteessa klotoidin parametriin ja kaaren säteisiin. Junaradan rakennepintojen taiteviivojen sopiva pituus suoralla on 10 metriä, mutta kaarteissa 2–5 metriä ja klotoideissa alle 2 metriä. (Snellman 2014, 13–14.)

Jokaisessa mallinnusvaiheessa käytetään samaa nimeämiskäytäntöä, joka pohjautuu InfraBIM-nimikkeistöön. Taiteviivan nimi muodostetaan nimellä ja numerokoodilla geometrialinjan sijainnin mukaan (Liite 2.), mutta taiteviivan nimestä ei erota kummalla puolella se on geometrialinjaa. Eri rakennepinnoilla voi olla samannimisiä ja samalla numerokoodilla olevia taiteviivoja, mutta se ei haittaa sillä jokaista rakennepintaa käsitellään omana toteutusmallina. Rakennepinnat (Liite 1.) nimetään samalla periaatteella kuin taiteviivatkin, mutta niiden nimeäminen tukeutuu Infra 2006 Rakennusosanimikkeistöön. (InfraBIM 2012, 7.)

4 MALLINTAMINEN KEMIJÄRVI-HANKKEELLA

4.1 Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen

Destia Rail Oy suoritti radan päällysrakenteen uusimisen Kemijärvellä raidekm välillä 1057+400–1063+910 syksyllä 2014. Hankkeen sijainti on havainnollistettu Kuviossa 8. Työn tilaaja oli Liikennevirasto, joka myös toimitti hankkeen lähtötiedot. Junaradan parantaminen liittyy Patokankaan tehdas- ja puunkuormausalueen yhteyksien parantamiseen. Hankkeen tavoitteena on betonipölkyin varustettu ja sähköistetty jatkuvakiskoraide 54 E1 koko liikennöintivälille. Destia Rail Oy toteutti hankkeesta päällysrakenteen uusimisen, ojien perkauksen, rataluiskien puhdistuksen, rumpujen puhdistuksen sekä työalueen tasoristeyskansien uusimisen. Jäljelle hankkeesta jäi siis sähköistäminen ja tehtaalle menevän raiteen uusiminen. Hankkeen eri työvaiheet on vielä visualisoitu liitteissä 3 ja 4. (Kemijärvi-hanke 2014.)



Kuvio 8. Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen (Kemijärvi-hanke 2014)

Hanke oli yksikköhintaurakka ja kaikki määrät perustuivat yksikköhintaan. Hanke ei ollut lähtökohtaisesti tietomallipohjainen urakka, eikä sitä ollut suunniteltu tietomallipohjaisesti. Hanke kuitenkin toteutettiin mallipohjaisesti, mutta rakennussuunnitelmat eivät soveltuneet sellaisenaan käytettäväksi työkonemaatiassa. Urakoitsija joutui itse tekemään koneohjausmallit

paalukohtaisten poikkileikkauskuvien avulla. Leikkaustöiden alkaessa työkoneiden kuljettajat oli ohjeistettu keräämään toteumapisteitä 10 metrin välein leikkauspohjan molemmin puolin. Leikkaustyötä tukemassa oli aina yksi mittamies takymetrin kanssa. Hänen tehtäviin kuului KL:n merkkäminen ja huolehtiminen siitä, että leikkauspohja täyttää laatuvaatimukset. Mittamies myös tuki leikkaustyötä, jos automaatiotyökone menetti yhteyden tukiasemaan. Vanha tukikerros poistettiin ja alusrakenne tasattiin uusittavan raiteen kohdalta tasoon KV -0,55 metriä.

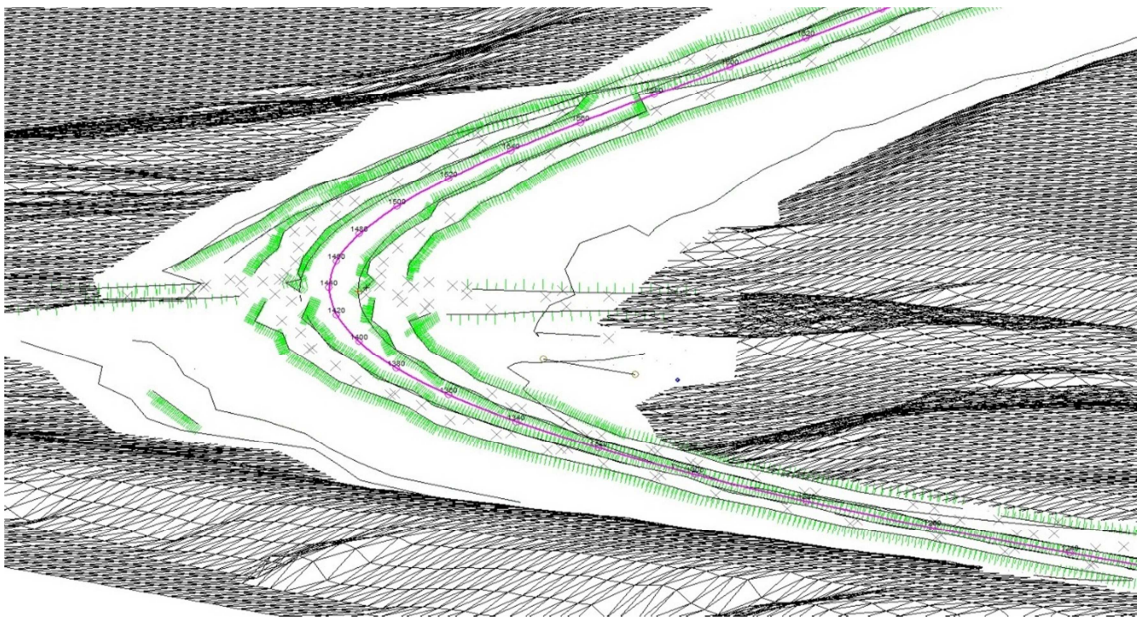
Rataluiskien puhdistaminen suoritettiin molemmin puolin ratapenkkaa noin 20 senttimetrin syvyydeltä tasoon KV -2,5 metriä tai ojan pohjaan asti. Puhdistusta varten tehtiin koneohjausmalli, koska muuten mittamies olisi joutunut merkkäamaan edellä mainitun tason ainakin 40 metrin välein rataluiskiin ja se olisi vienyt aikaa muilta tehtäviltä. Samoin ojien perkaamiseen tehtiin oma koneohjausmalli käyttämällä maastomallia.

Ennen hankkeen aloitusta mittauspalvelut tarkisti voiko tilaajan toimittamaa maastomallia käyttää määrälaskentaan. Jos maastomallissa olisi huomattu suuria virheitä, eikä se olisi täyttänyt Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohjeessa annettuja vaatimuksia, olisi sitä jouduttu täydentämään tai kokonaan mittaamaan se uusiksi. Samalla myös tarkistettiin mittausperusta sekä uuden radan pysty- ja vaakageometriat.

Geometriat tarkistettiin niiltä alueilta, joissa oli urakkaan kuulumattomia osuuksia, kuten ratasillat. Näistä kohdista tarkistettiin kuinka hyvin vanha ja uusi geometria kohtaavat keskenään maastossa. Kemijärvi-hankkeella huomattiin lieviä ongelmia ratasilltojen kohdalla, mutta niistä selvittiin laskemalla tasaisia sujutuksia vanhan ja uuden geometrian kohtauspaikkaan.

4.2 Maastomalli

Kemijärvi-hankkeen maanpinnan maastomalli (Kuvio 9.) saatiin Liikennevirastolta, joka oli kilpailuttanut sen omana hankkeenaan. Hankkeen maastomallin oli tehnyt Maanmittauslaitos laserkeilaamalla ja sitä oli täydennetty Mitta Oy:n takymetri- ja GPS-mittauksilla. Kemijärvi-hankkeella maastomallia käytettiin määrälaskentaan sekä kuivauksen suunnitteluun. (Kemijärvi-hanke 2014.)



Kuvio 9. Kemijärvi-hankkeen maanpinnan maastomalli (Kemijärvi-hanke 2014.)

Maastomallin yksi tärkeimpiä käyttökohteita radansuunnittelussa ja -rakentamisessa on määrälaskenta. Määrälaskennan onnistumisen kannalta on tärkeää, että voidaan luottaa maastomallin oikeellisuuteen. Määrälaskenta on yhtä tarkka, kuin siihen käytettävä maastomalli on. Tilaajalta saatu maastomalli tarkistetaan ennen sen käyttöä rakentamisessa, koska tarkistamaton aineisto voi aiheuttaa ongelmia ja virheitä myöhemmässä käytössä. (3D-Win 2014, 5, 28.)

Tilaajan toimittamassa maastomallissa oli paljon puutteita, joita jouduttiin korjaamaan ennen kuin maastomallia voitiin käyttää määrälaskentaan. Puutteita ja virheitä olivat mm. päällekkäisyydet, pintatunnusten puuttuminen,

kohdekoodien puuttuminen, taitteiden kuvaaminen hajapisteillä, leikkaavat viivat ja tupla pisteet. Maastomalli saatiin korjauksien jälkeen kolmioitua 3D-Winissa 30 metrin kolmionsivulla.

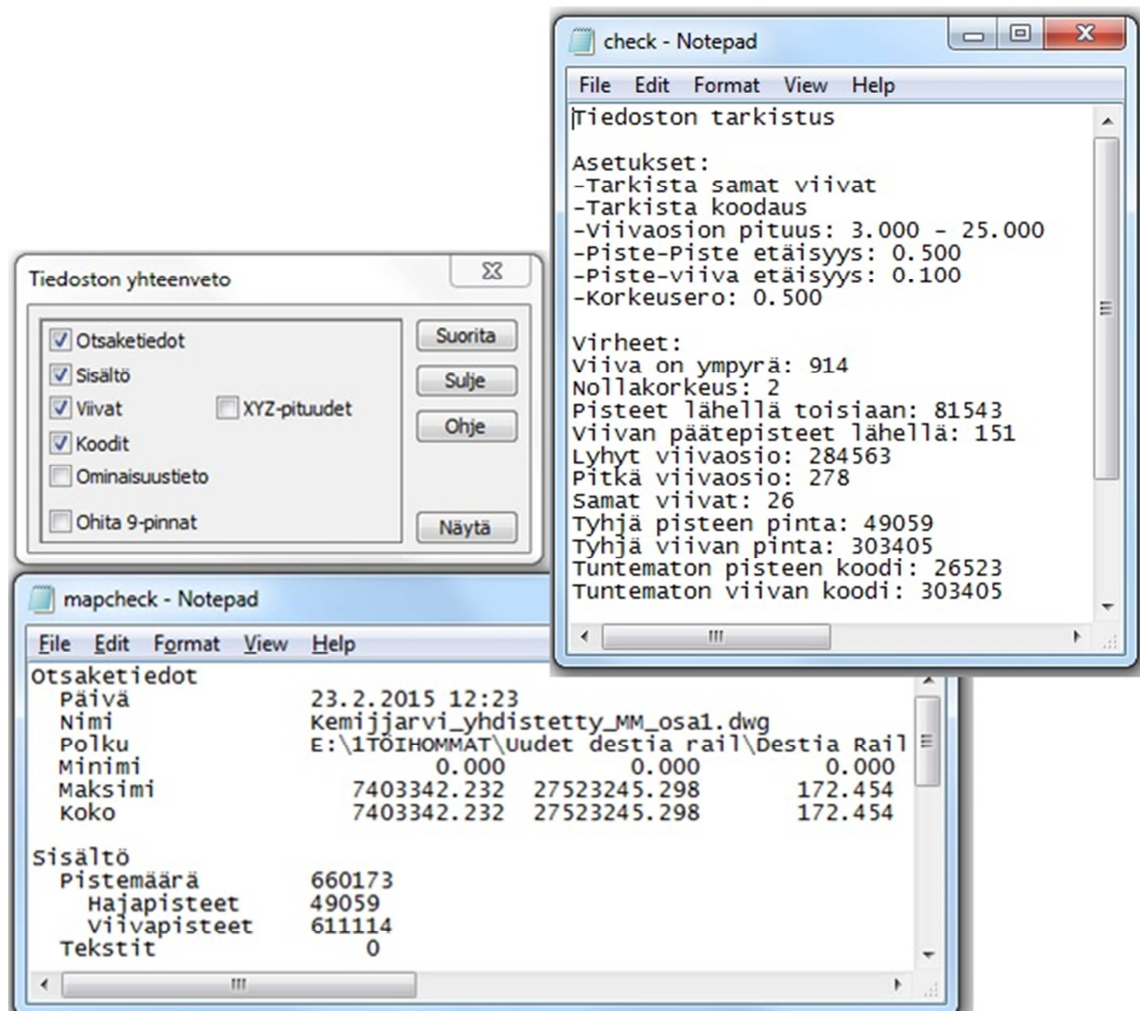
4.3 Maastomallin tarkistaminen

Kemijärvi-hankkeen maastomalli tarkistettiin määrälaskentaa varten hyvissä ajoin ennen hankkeen aloitusta. Tarkoituksena oli selvittää maastomallin todellinen korkeus, koska laserkeilatun maanpinnan korkeuden tarkkuus voi heitellä merkittävästi todellisesta. Hankkeen vastaanoton kävelytarkastuksessa huomattiin, että pensaikkoa oli kaadettu peittämään ratapenkerettä sekä ojanpohjia. Tämän tiedetään haittaavan laserkeilauksen ja maastomittauksen tarkkuutta, siksi hankkeen maastomalli tarkistettiin vielä urakoitsijan puolesta.

Tilaajan toimittama maastomalli tarkistettiin mittaamalla ratapenkereestä tarkistuspoikkileikkauksia noin 200 metrin välein. Tarkistuspoikkileikkauksiin mitattiin kaikki taitteet ratapenkereestä riittävän laajalta alueelta. Jos poikkileikkauksissa olisi huomattu selviä yhdensuuntaisia korkeusvirheitä, olisi urakoitsija joutunut mittaamaan alueelle uuden maastomallin. Kemijärvi-hankkeella tarkistuspoikkileikkaukset olivat tasaisesti alempana ja korkeammalla kuin laserkeilattu maanpinta, millä todettiin olevan pieni merkitys määrälasennassa. Ennen määrälaskentaa maastomalli kuitenkin piti vielä tarkistaa 3D-Win-ohjelmalla.

3D-Win-ohjelmalla voidaan tarkistaa sekä korjata virheitä maastomallista ja lopuksi suorittaa tarkistus kolmiointi. Tärkeää tarkistamisessa on huomata, että luonnontaitteita on kuvattu taiteviivoilla eikä hajapisteillä. Kyseinen virhe väärentää kolmiointia, koska taiteviiva on aina yksi kolmionsivu. Tarkistamisessa pitää kiinnittää huomioita myös koodien käyttöön, koska 3D-Win on ohjelmoitu lukemaan kooditunnuksia määrälaskennassa. Tarkistamatonta maastomallia ei voi käyttää määrälaskentaan, koska se vääristää määrälaskennan tulosta. (3D-Win 2014, 6–8; Junnonen 2009, 37.)

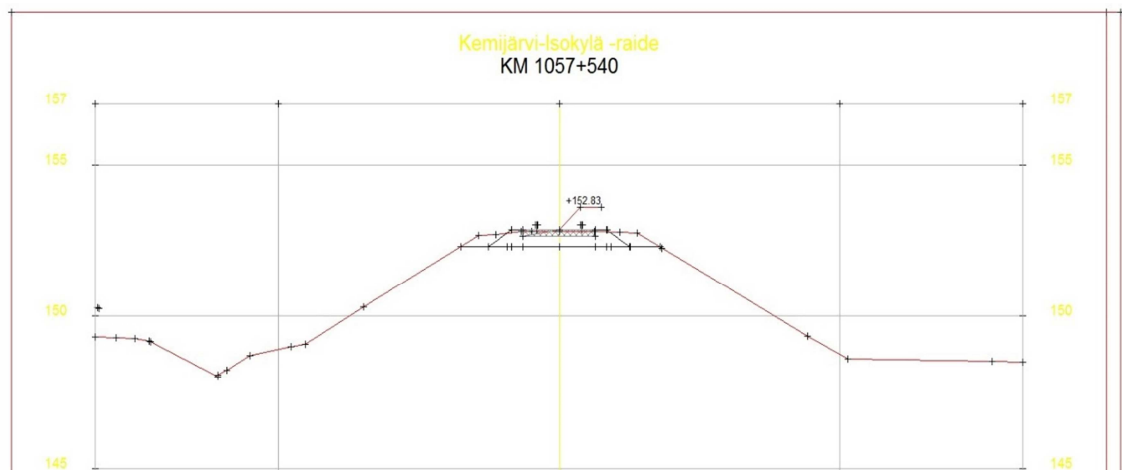
Maastomallista etsitään virheitä Tiedoston tarkistus -toiminnolla ja Kuviossa 10. huomataan kuinka paljon virheitä voi maastomalli sisältää. Virheitä korjataan 3D-Winin Tiedoston korjaus -toiminnolla. Toiminto korjaa virheitä automaattisesti käyttäjän antamalla asetuksilla. Muita yksittäisiä korjauksia voi käyttäjä tehdä itse Editoi piste -toiminnolla ja Editoi viiva -toiminnoilla. Määrälaskentaa haittaa erityisesti pisteiden, viivojen ja pintojen koodaus, koska 3D-Win laskee määrät koodien mukaan. Kolmioinnin epätarkkuus myös vaikuttaa määrälaskentaan. Kolmiointia merkittävästi haittaavat virheet ovat leikkaavat viivat, taiteviivojen virheet, tuplaviivat ja -pisteet.



Kuvio 10. Maastomalliaineiston tarkistus 3D-Win-ohjelmalla (Kemijärvi-hanke 2014)

4.4 Koneohjausmallien tekeminen

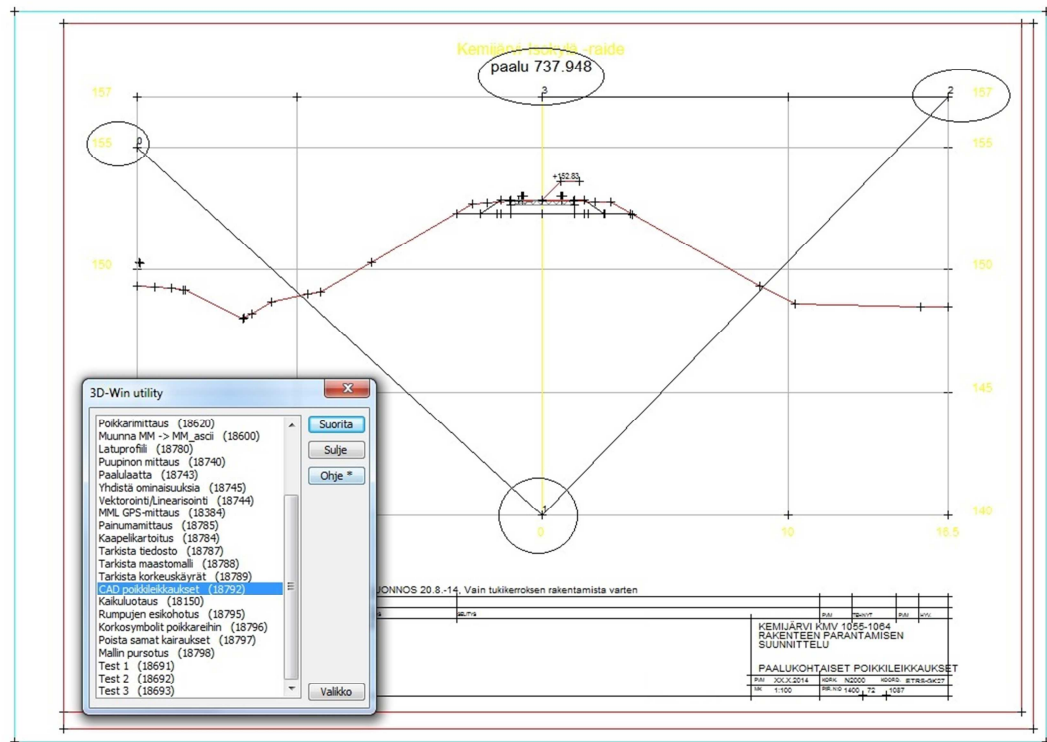
Kemijärvi-hankkeen suunnitelma-aineistot olivat tehty ennen tietomallipohjaista suunnittelua. Koneohjausmalleja ei siis saatu valmiiksi suunniteltuna, vaan ne täytyi urakoitsijan tehdä itse tilaajan toimittamien lähtötietojen mukaan. Hankkeelle tehtiin 3D-Win-ohjelmalla leikkauspohjan malli, välikerrosmalli ja kuivatusmalli. Leikkauspohjan mallintaminen perustui siihen, että tilaajan toimittamista leikkauspohjan ja maanpinnan maastomallin DWG-poikkileikkauskuvista (Kuvio 11.) poimittiin väli- ja tukikerroksen rakennepintojen nurkkapisteet, joiden kautta piirrettiin jatkuvaa radansuuntaista taiteviivaa. Ennen kuin DWG-poikkileikkauskuvaa voidaan käyttää mallintamiseen, täytyy se ensin kääntää 3D-Winilla.



Kuvio 11. Leikkauspohjan ja maanpinnan maastomallin DWG-poikkileikkauskuva (Kemijärvi-hanke 2014)

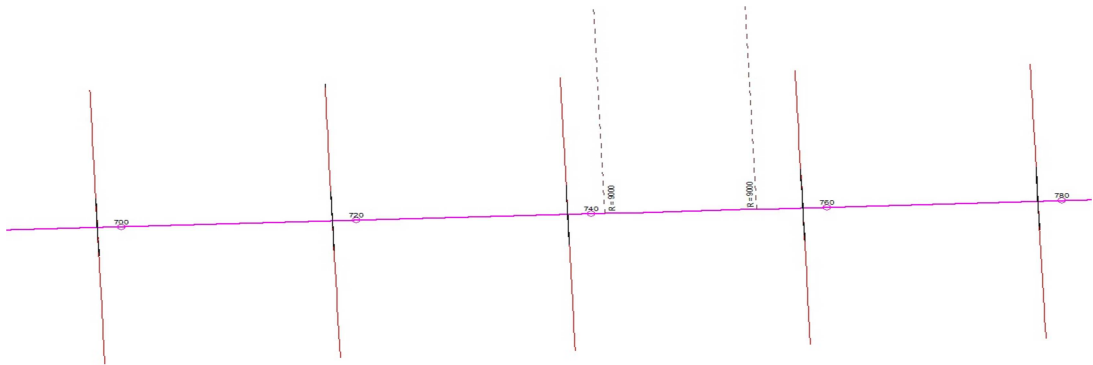
Poikkileikkauskuvan kääntäminen aloitetaan piirtämällä neljän pisteen viiva poikkileikkauskuvaan. Ensimmäisenä haetaan kuvalle oikea korkeusarvo (piste 0 Kuvio 12.) ja nimetään se oikealla korkeudella koodikenttään T1, tässä tapauksessa koodilla 155. Toiseksi osoitetaan kuvasta KL:n paikka (piste 1 Kuvio 12.). Kolmanneksi näytetään oikean reunan leikkauskohta (piste 2 Kuvio 12.), joka määrittää myös maanpinnan korkeuden oikeassa reunassa. Neljänneksi osoitetaan paalulukku (piste 3 Kuvio 12.), jonka täytyy olla sama kuin geometria tiedostossa vastaavassa kohdassa. Tässä tapauksessa

poikkileikkauks kuvaa 1057+540 vastaa paaluluku 737.948 geometriassa. Viivan pisteiden 0–2 avulla määritetään suorakaide, jolla kuvasta leikataan poikkileikkauksen viivat ja pisteellä 3 paikoitetaan poikkileikkauskuva geometriaan.



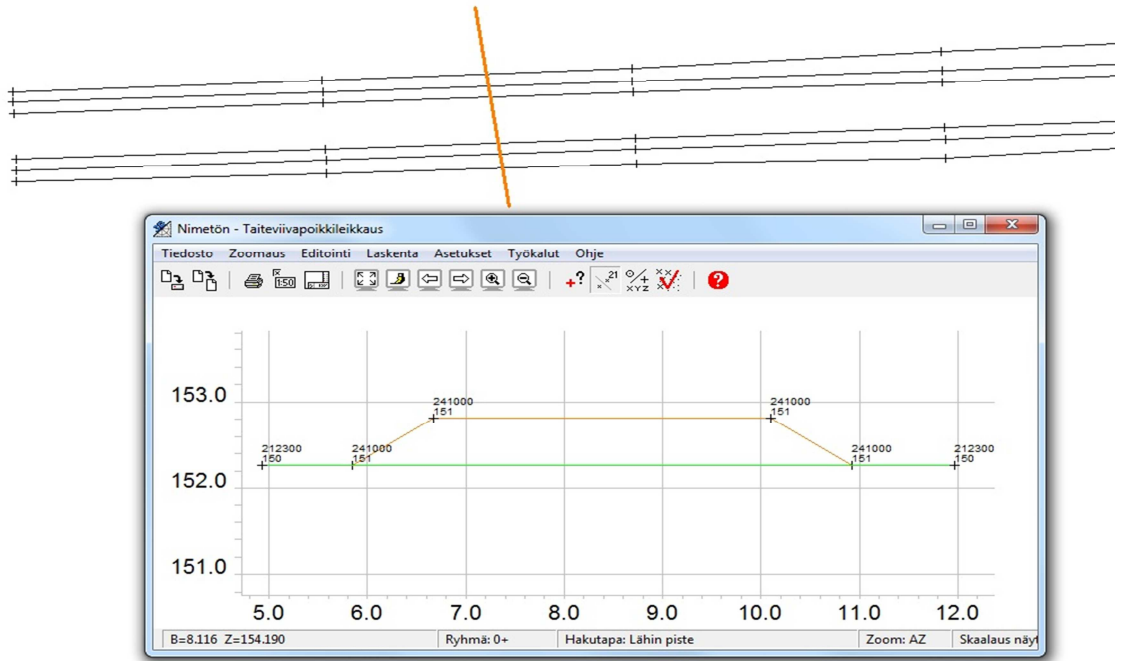
Kuvio 12. CAD-poikkileikkaukset -toiminnon käyttäminen (Kemijärvi-hanke 2014)

Lopulta kuva käännetään CAD-poikkileikkaukset Suorita -toiminnolla. Poikkileikkauskuva kääntyy geometrian mukaan (Kuvio 13.) ja tämän jälkeen kuvaa voidaan käyttää mallintamisessa. Toiminnon käyttäminen väylähankkeen mallintamisessa on kuitenkin hidasta, koska sitä toistetaan jokaiselle poikkileikkaukselle. Esimerkkinä Kemijärvi-hanke, joka oli yli 5 kilometrin pitkä ja poikkileikkauksia on 20 metrin välein.



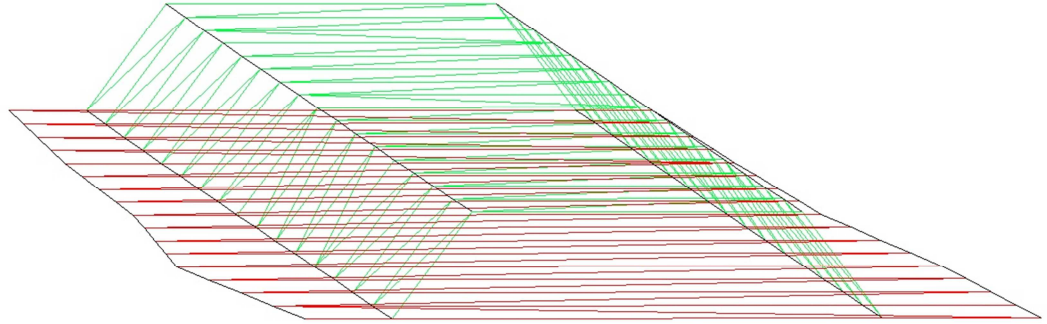
Kuvio 13. DWG-Poikkileikkauskuvat käännettynä geometrian mukaan (Kemijärvi-hanke 2014)

Poikkileikkausten kääntämisen jälkeen lisätään Lisää viiva -toiminnolla jatkuvia radansuuntaisia taiteviivoja väli- ja tukikerroksen rakennepintojen nurkkapisteiden kautta. Taiteviivojen piirtämisessä täytyy olla erityisen tarkka siitä, että piirtää viivan oikeasta pisteestä oikeaan pisteeseen, koska poikkileikkauskuvassa on väli- ja tukikerroksen pisteitä päällekkäin. Molemmat rakennepinnat mallinnetaan omiin elementteihin, jonka jälkeen niitä voidaan tarkastella Taiteviivapoikkileikkaus -toiminnolla (Kuvio 14.) päällekkäin. Taiteviivat ja rakennepinnat nimetään InfraBIM-nimikkeistön mukaan.



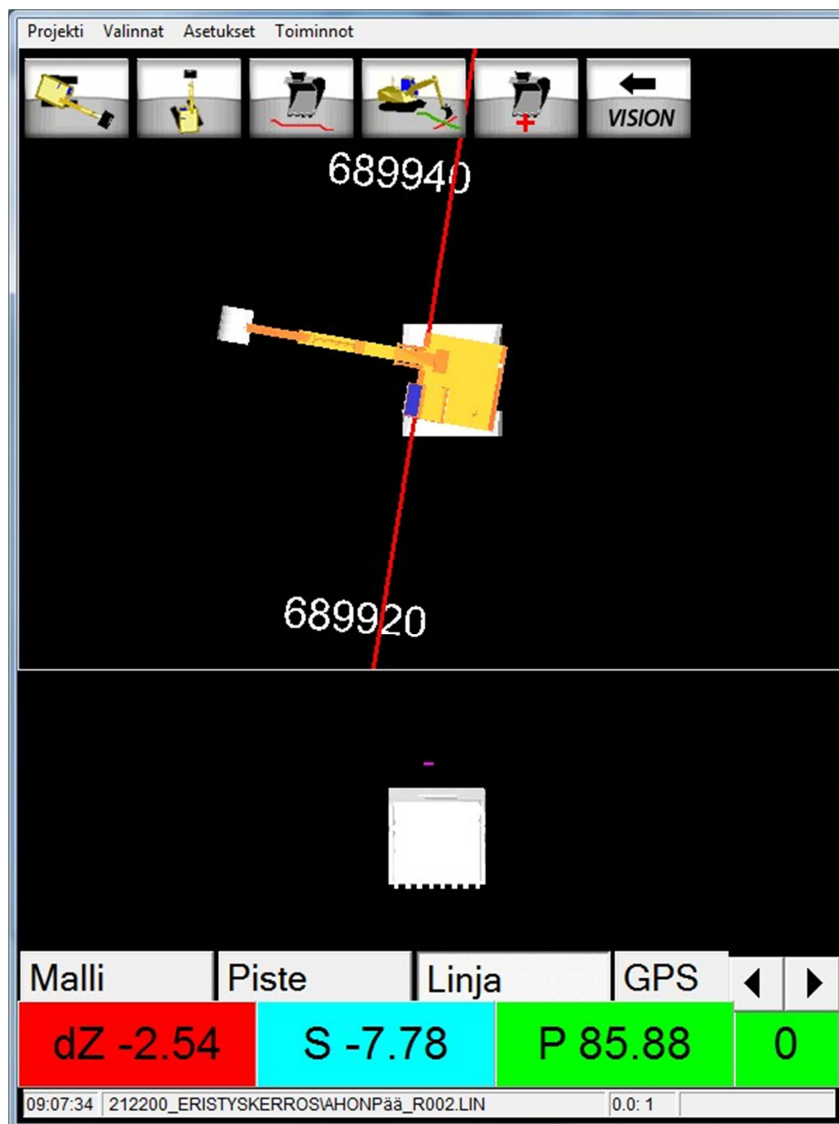
Kuvio 14. Rakennepintojen piirtäminen DWG-poikkileikkauskuvien avulla (Kemijärvi-hanke 2014)

Tämä ei kuitenkaan ole vielä riittävän tarkka malli leikkaustyön suorittamiseen, koska pisteväli on sama kuin poikkileikkauskuvilla eli 20 metriä. Väylärakenteen toteutusmallin laatimisoheessa sanotaan, että riittävä pisteväli taiteviivoilla on suorilla 10 metriä ja kaarteissa 2–5 metriä. Tämä korjataan 3D-Winin Kaaren osittaminen -toiminnolla, joka katkoo taiteviivaa haluttuihin osiin kuitenkin säilyttäen sen jatkuvana. Käytännössä 3D-Win laskee taiteviivalle uusia pisteitä, jotka rajaavat rakennepintojen kolmiointia. Taiteviivojen pisteväliä muutettiin 5 metriksi ja rakennepinnat kolmioitiin Kuvion 15. mukaisesti.



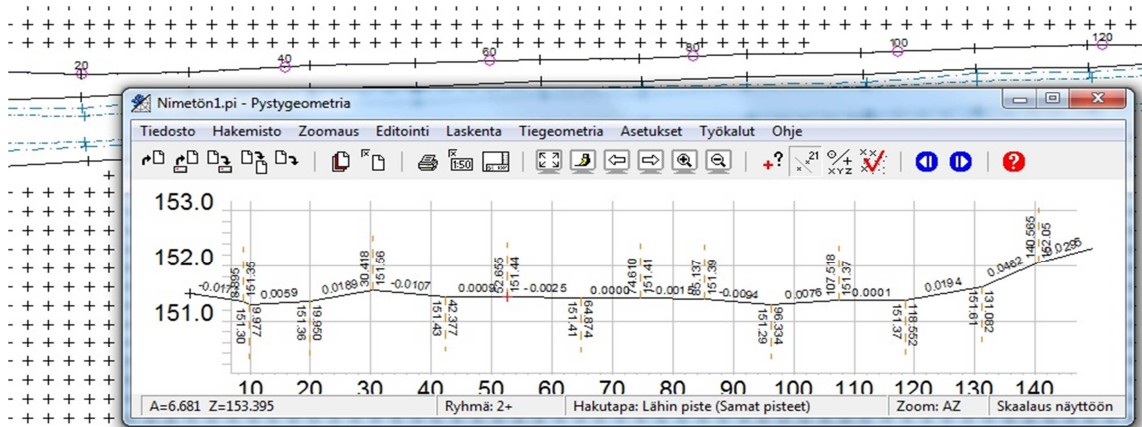
Kuvio 15. Teoreettinen leikkauspohja ja tukikerros kolmioituna (Kemijärvi-hanke 2014)

Sivuluiskat piti puhdistaa aluskasvillisuudesta ennen tukikerroksen leikkuutyön aloittamista. Puhdistaminen oli helpointa suorittaa automaatiotyökoneella raiteilta. Sivuluiskat puhdistettiin joko ojanpohjaan asti tai enintään KV -2,5 metriä. Työ tehtiin automaatiotyökoneen Linja -toiminnolla, joka näyttää kauhan mittapisteen korkeuseron KV:n. Kuviossa 16. dZ on kauhan mittapisteen ero KV:n. (Marttila 2015.)



Kuvio 16. Sivuluiskien puhdistaminen automaatiotyökoneen Linja -toiminnolla (Marttila 2015)

Kuivausmalli toteutettiin tekemällä uusi linja työkoneille 3D-Win-ohjelman Tiegeometria -toiminnolla. Kuviossa 17. on etsitty maastomallin ohjanpohjasta Tiegeometria -toiminnolla sopivia vedenjakajia. Pieniä tarkennusmittauksia piti tehdä ennen kuivausmallin tekemistä, koska kuivaussuunnitelmissa oli joitain ristiriitoja maanpinnan muotojen kanssa. Kuivaussuunnitelmissa veden virtaukset olivat paikoittain merkitty suuntiin, joissa maanpinta nousi ja suurimmat leikkaustyöt olisivat tulleet vastaavaan kohtaan. Ongelmia korjattiin tekemällä uusi kuivaussuunnitelma, jonka tilaaja hyväksyi.



Kuvio 17. Tiegeometria -toiminto kuivausmallin tekemisessä (Kemijärvi-hanke 2014)

4.5 Mallintamisen hyödyntäminen

Kemijärvi-hankkeen suunnitelmat olivat tehty perinteisellä CAD-suunnittelulla, joten tietomallintamista ei voitu täysin hyödyntää hankkeen aikana. Suurimmat hyödyt hankkeella saatiin automaatiotyökoneista. Kun leikkaustyöt toteutettiin mallipohjaisesti, voitiin työmaalla käyttää Infrakit-sovellusta. Työnjohto käytti työmaan reaaliaikaseen seuraamiseen Infrakit-sovellusta, jonne automaatiotyökoneiden toteumatieto kerääntyy. Toteumapisteet voidaan hakea Infrakit-sovelluksesta määrälaskentaan ja laskutukseen.

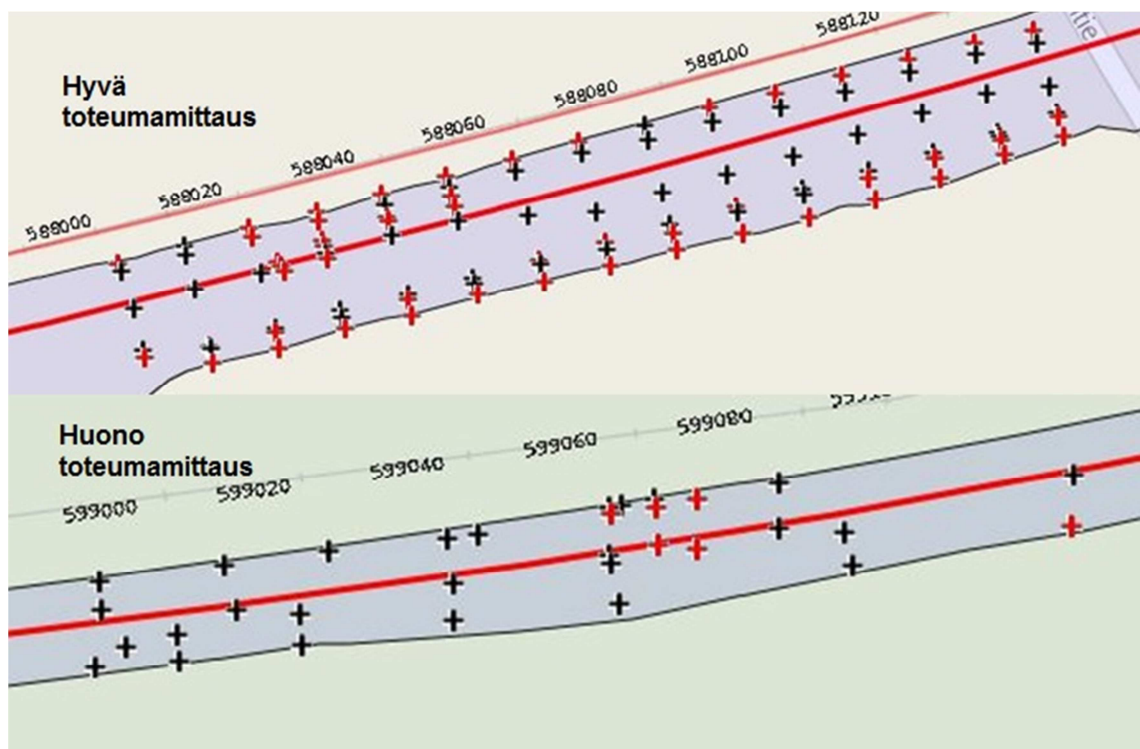
Kemijärvi-hanke oli yksikköhintaurakka ja urakoitsijan tulos oli kiinni eri materiaalmäärissä. Mallintamisen hyöty vastaavalla urakalla on kiistaton, koska automaatiotyökoneen kuljettaja voi toteumapisteiden koodauksella osoittaa mitä hän on tehnyt. Tämä helpottaa myöhemmässä vaiheessa tehtävää määrälaskentaa, koska 3D-Win-ohjelma laskee määrät koodien avulla.

4.5.1 Mallipohjainen määrälaskenta

Mallipohjainen määrälaskenta mahdollistaa nopeamman ja luotettavamman tavan laskea hankkeen eri materiaalmäärät. Etuna perinteiseen määrälaskentaan on, että määrät voidaan sitoa digitaalisesti koordinaateilla ja raidekilometrijärjestelmällä. Rakentamisen aikana mallipohjaista

määrälaskentaa tehdään, kun halutaan seurata hankkeen materiaalmääriä. Seuranta on materiaalihallintaa, jota tarvitaan hankkeen taloudenhallintaan. Jotta määrät voidaan laskea mallipohjaisesti, pitää kaikki määrälaskennan vaatimukset täyttyä. Vaatimuksia ovat: nimikkeistön käyttäminen rakenneosien nimeämisessä, kaikkien tarvittavien rakenneosien mallintaminen ja rakenneosien malleissa ei saa olla puutteita. (Ruuti 2014, 11–12, 14.)

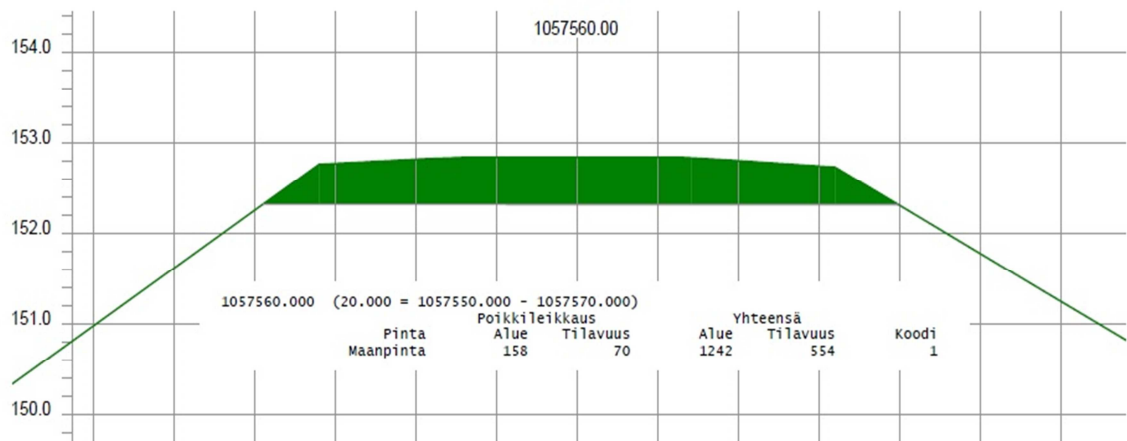
Mallipohjainen määrälaskenta perustuu automaatiotyökoneiden kuljettajien keräämiin toteumapisteisiin ja tämä on samalla mallipohjaisen määrälaskennan vahvuus sekä heikkous. Kuviossa 18. huomataan erot hyvän ja huonon toteumamittauksen välillä. Puutteellista toteumamittausta joudutaan täydentämään mittamiesten tarkistusmittauksilla ennen määrälaskentaa. Hyvä toteumamittaus soveltuu sellaisenaan käytettäväksi määrälaskennassa ja kyseisessä tilanteessa on saavutettu työkoneautomaation parhaimmat hyödyt. Urakoitsijan tuloksen kannalta automaatiotyökoneiden kuljettajien keräämät toteumapisteet ovat erittäin tärkeitä.



Kuvio 18. Hyvän ja huonon toteumamittauksen ero (Jaakkola 2015)

Kemijärvi-hankkeella määrälaskenta jaettiin viiteen alueeseen, koska hankkeella oli urakkaan kuulumattomia rataosuuksia kuten siltoja ja vaihteita. Jakaminen alueittain nopeutti määrien laskemista, koska toteutuneet leikkausmäärät saatiin laskettua pienellä viiveellä alueen valmistuttua. Alueet nimettiin yksinkertaisesti Massa-1 ja Massa-2 jne. Toteutuneet määrät laskettiin 3D-Win-ohjelmalla. (Marttila 2015.)

3D-Win-ohjelmassa on määrälaskentaan kolme eri tapaa: Yhdistä mallit-, poikkileikkaus- ja ruutumassat-menetelmä. Näistä parhaiten ratahankkeelle soveltuu poikkileikkausmenetelmä, jossa lasketaan poikkileikkauskuvan pinta-alan ja käytetyn mittalinjan avulla keskiarvoistetut massat valitulta alueelta. Poikkileikkausmenetelmä tuottaa laskentavaiheesta aina tulostettavan poikkileikkauskuvan, jolla voidaan visuaalisesti tarkistaa laskennan oikeellisuus (Kuvio 19). Poikkileikkausmenetelmällä voidaan vielä korjata vajavaista poikkileikkausta. (3D-Win 2014, 28, 33.)



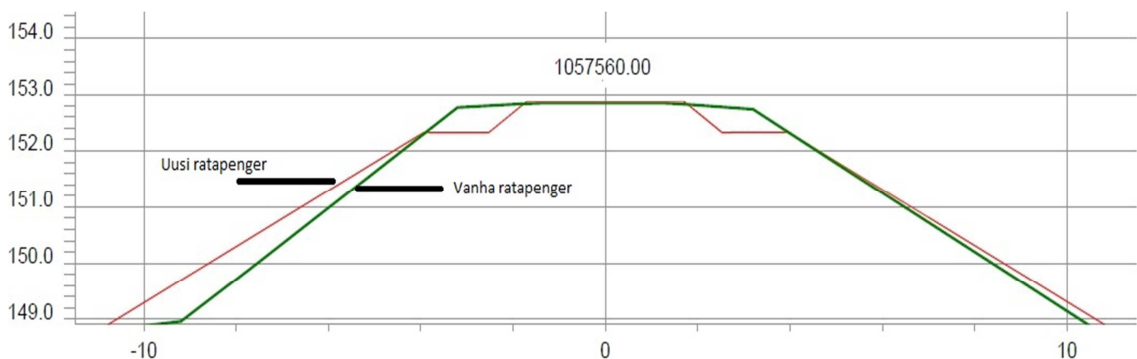
Kuvio 19. Tukikerroksen leikkausmassat paalulla 1057+560 (Kemijärvi-hanke 2014)

Kemijärvi-hankkeella tukikerroksen leikkausmassat laskettiin leikkauspohjan mallin ja tilaajan toimittaman maanpinnan maastomallin mukaan. Leikkauspohjan mallia muokattiin säätelämällä sen korkeutta toteumapisteiden mukaan. Välikerrosmallin massat laskettiin toteumapisteiden avulla. Automaatiotyökoneiden kuljettajat keräsivät toteumapisteen ojanpohjasta/KV - 2,5 metriä ja toisen pisteen luiskan yläreunasta. Välikerrosmallin

leikkausmassat laskettiin neliömetreinä. Kuivausmallin massat laskettiin samalla periaatteella kuin leikkauspohjan mallin massat. (Marttila 2015.)

4.5.2 Mallintaminen työnjohdon apuna

Kemijärvi-hankkeen työnjohto käytti mallintamista raportointiin tilaajalle, työmaan reaaliaikaiseen seurantaan Infrakit-sovelluksella sekä aliurakoiden laskuttamiseen toteutuneiden määrien mukaan. Mallipohjainen raportointi tarkoittaa toteumapisteiden käyttämistä laadunvalvontaan. Kun toteumapisteet avataan 3D-Win-ohjelmalla hankkeen pohjakartan kanssa, voidaan Tarkemittaus -toiminnolla erotella eri väreillä laatupoikkeamat leikkauspohjasta. Toteumapisteiden avulla voidaan tehdä poikkileikkauskuvia uudesta ratapenkereestä ja verrata niitä alkuperäisiin poikkileikkauskuviin (Kuvio 20). Poikkileikkauskuvaa tulkitsemalla saa nopeasti käsityksen siitä mitä on tehty ja kuinka laadukkaasti se on toteutettu. (Marttila 2015.)



Kuvio 20. Toteutuneen ratapenkereen poikkileikkaus paalulla 1057+560 (Kemijärvi-hanke 2014)

Mallipohjainen määrälaskenta antaa työnjohdolle enemmän aikaa reagoida toteutuneisiin määriin. Laskentaa tehdään hankkeen aikana jatkuvasti ja se tukee työnjohdon päätöksiä materiaalihallinnassa. Toteutuneiden määrien mukaan aliurakoitsijat laskuttavat urakoitsijaa vaihtoehtoisen tuntikirjauksen sijaan. Toteutuneilla määrillä selviää riittävätkö varatut materiaalit loppu hankkeelle vai onko hankkeen aloituksessa varattu liikaa materiaalia. Materiaalien riittävyyttä tulkitsemalla saadaan tärkeää tietoa seuraavia

hankkeita varten. Tavoitteena on päästä tilaan, jossa on mahdollisimman pieni materiaalihäviö. (Jaakkola 2015.)

5 TULOKSET

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää materiaalimäärien seurantaprosessi mallipohjaisella radanrakentamisurakalla. Tavoitetta varten selvitettiin, miten seurantaprosessi tehtiin Kemijärvi – Patokangas päällysrakenteen uusiminen - hankkeella. Työstä huomataan, että rakentamisvaiheen materiaalimäärien seurannassa voidaan erottaa erilaisia osavaiheita ennen kuin toteutuneet määrät luovutetaan tilaajalle. Työssä tehdyn tutkimuksen mukaan osavaiheet voidaan jakaa Taulukko 2. mukaan kolmeen osavaiheeseen.

Taulukko 2. Mallipohjaisen materiaalimäärien seurannan osavaiheet

Lähtötietojen tarkistaminen	Mallintaminen	Toteutuneen tarkistaminen
- Maastomallin tarkistaminen 3D-Win:lla	- Koneohjausmallien tekeminen	- Määrien oikeellisuuden tarkistaminen
- Tarkistus poikkileikkaukset maastossa	- Toteumapisteiden kerääminen	- Havainnollistavat kuvat ja kartat
- Geometrioiden tarkistaminen maastossa	- Mallipohjainen määrälaskenta	- Aliurakoitsijoiden laskuttaminen
- Mahdolliset täydennys mittaukset	- Määrien seuraaminen mallipohjaisesti	- Dokumentointi tilaajalle

Osavaiheet ovat lähtöaineistojen tarkistaminen, mallintaminen ja toteutuneen tarkistaminen. Lähtötiedot tarkistetaan mahdollisten virheiden takia urakoitsijan puolesta. Tarkistaminen tehdään, jotta lähtötietoja voidaan luotettavasti käyttää määrälaskennassa rakentamisen aikana. Kuten Kemijärvi-hankkeen lähtötietojen tarkistamisessa huomattiin, voivat lähtötiedot sisältää paljon virheitä ja puutteita.

Seuraava osavaihe on mallintaminen. Tässä vaiheessa tehdään automaatiotyökoneille koneohjausmallit sekä lasketaan hankkeessa toteutuneet materiaalimäärät. Koneohjausmallit tehdään tilaajan toimittamien lähtötietojen mukaan. Kemijärvi-hankkeella mallit tehtiin poikkileikkauskuvien, maastomallin sekä geometrian mukaan. Työkoneet työskentelevät koneohjausmallien mukaan ja keräävät työn aikana toteumapisteitä, joilla lasketaan toteutuneet määrät. Työnjohto käyttää toteumatietoa hankkeen määrien- ja taloudenhallintaan.

Viimeinen osavaihe on toteutuneen tarkistaminen. Tässä vaiheessa tehdään toteuma- ja tarkemittauspisteillä havainnollistavia kuvia ja karttoja, joita tilaaja käyttää laadunvalvontaan. Tilaajalle lähetettäviä dokumentteja ovat muun muassa poikkileikkauskuvat ratapenkereestä (Kuvio 20.), visuaaliset kuvat määrälaskennasta (Kuvio 19.) ja tarkekuvat leikkauspohjan laadusta. Hankkeen tilaaja saa kuvien avulla selville, mitä hankkeella on tehty ja kuinka laadukkaasti se on toteutettu. Toteumatietojen avulla myös aliurakoitsijat pystyvät laskuttamaan urakoitsijaa tehdystä työstään.

Opinnäytetyöstä käy selväksi, että lähtötietojen mallinnuksessa pitää käyttää InfraBIM-kehityshankkeessa valmistettuja mallinnusohjeita ja -vaatimuksia. Tällöin lähtöaineistojen käyttäminen rakentamisvaiheessa on huomattavasti tehokkaampaa, kun aineistoja voidaan käyttää ilman merkittävää muokkauksta. Työssä huomattiin kuinka paljon Kemijärvi-hankkeen lähtöaineistoja piti muokata ennen kuin ne soveltuivat mallipohjaiseen toteutukseen.

InfraBIM-nimikkeistön käyttäminen lähtötietojen koodauksessa helpottaa ja nopeuttaa laskentaprosessia, koska laskennassa käytetty 3D-Win-ohjelma laskee määrät koodien ja pintojen perusteella. Kun laskennassa käytetään nimikkeistön koodi- ja pintatunnuksia, on tilaajallakin helpompi tarkistaa hankkeella toteutuneet määrät. Määrälaskennan jakaminen sopiviin kokonaisuuksiin huomattiin tehostavan määrätiedon laskemista ja hyödyntämistä hankkeen toteutuksen aikana.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ongelmana vielä lähitulevaisuuden ratarakentamisessa on se, että hankkeiden suunnitelmat ovat tehty perinteisellä CAD-suunnittelulla eikä suunnitelmia päivitetä nykyrakentamisessa vaadittavalle tasolle. Mikä on harmillista, sillä nopealla muokkauksella saataisiin nykyisistä suunnitelmista huomattavasti tehokkaammat. Tulevaisuus näyttää kuitenkin valoisalta, kun Liikennevirasto julisti tilaavansa vain tietomallipohjaista suunnittelua tuleville hankkeille. Nykyinen ongelma suunnitelmien laadussa poistuu, kun loput CAD-suunnitelmiin pohjautuvat hankkeet ovat tehty.

Tulevaisuudessa rakentamisen mallinnusprosessi voi olla täysin erilainen kuin tässä työssä toteutettu. Kun hankkeen lähtötiedot ja suunnitelmat ovat tehty mallinnusohjeiden ja -vaatimusten mukaan, voidaan suunnittelijan toteutusmallista poimia suoraan erilaisia koneohjausmalleja eri työvaiheisiin. Vastaavassa tilanteessa ei tarvitse enää tehdä erillisiä koneohjausmalleja käyttäen poikkileikkauskuvia. Tämä vähentäisi huomattavasti mallintamiseen käytettävää aikaa, koska jouduttaisiin vain tarkistamaan suunnittelijan tekemät toteutusmallit. Koneohjausmallien tekeminen poikkileikkauskuvista oli työlästä ja niiden tekemisessä täytyi olla erityisen huolellinen. Poikkileikkauskuva sisältää paljon päällekkäistä tietoa ja kuvan muokkaaminen on erittäin riskialtista.

Tietomallintamisen täysi hyödyntäminen hankkeella edellyttää työkoneiden kuljettajien perehdyttämistä työkoneohjausjärjestelmään, jos se ei ennestään ole tuttu. Kuljettajien täytyy hallita työkoneohjausjärjestelmä kokonaisuudessaan, sillä toteumatiedon kerääminen on täysin kuljettajien vastuulla. Kuljettajat täytyy opastaa toteumatiedon keräämiseen ja heidän pitää ymmärtää toteumatiedon merkitys hankkeelle. Jos kuskit unohtavat kerätä toteumatietoa, joudutaan tilaamaan mittausryhmä suorittamaan mittaukset ja tästä aiheutuu lisäkustannuksia urakoitsijalle.

Mallipohjaisella työmaalla suurin riski onnistuneessa massaseurannassa on se, että työkonekuskit unohtavat kerätä toteumapisteitä. Yksi tapa poistaa tämä

riski olisi muokata työkonejärjestelmää niin, että se muistuttaisi äänimerkillä tai eri väreillä käyttöliittymässä kuljettajaa keräämään toteumapisteen. Järjestelmään voisi laittaa asetuksina, vaikka 10 metriä tai jonkun aikavälin viimeiseen tallennettuun havaintoon. Järkevin tapa ratarakentamisessa olisi varmasti tämä 10 metrin väli edelliseen havaintoon, koska työkone liikkuu kokoajan vain yhteen suuntaan. Työkonejärjestelmään voitaisiin myös jo valmiiksi sijoittaa pisteitä, joiden päältä pitää ottaa toteumahavainnot. Tämä tapa kuitenkin lisää editoinnissa tarvittavaa työmäärää, mutta 3D-Win-ohjelmaan voi varmasti tehdä toiminnon, joka lisäisi pisteitä sopivilla rajauksilla. Loppujen lopuksi paljon on kuitenkin kiinni työkoneenkuljettajan omasta asenteesta ja mielenkiinnosta mallipohjaista työskentelyä kohtaan.

3D-Win soveltui hyvin opinnäytetyössä tehtyyn Kemijärvi-hankkeen mallinnusprosessin rekonstruointiin. Ohjelmassa on hyvät työkalut mallinnusprosessin läpivientiin aina lähtötietojen tarkistamisesta tilaajalle luovutettavan aineiston tekemiseen. Opiskelun aikana saadusta kokemuksesta 3D-Win-ohjelman käyttöön, oli merkittävä apu tätä opinnäytetyötä tehtäessä.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Työssä tutkittiin vain yhtä mallipohjaisesti toteutettua hanketta ja tämän pohjalta saatiin työn tulokset. Jos halutaan arvioida työn tulosten luotettavuutta, on mahdollista että vain yhden hankkeen tutkiminen ja tekijän kokemattomuus näkyvät tulosten laadussa. On myös mahdollista, että jokin vaihe on jäänyt tuloksissa huomaamatta. Kemijärvi-hankkeen rekonstruoinnissa kuitenkin yritettiin toistaa mahdollisimman tarkasti se, mitä itse hankkeen toteutuksessa tehtiin.

Työn aihe oli alkuun todella haastava, koska minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta tietomallintamisesta eikä mallintaminen ollut opiskeluni aikana osa maanmittaustekniikan koulutussuunnitelmaa. Koen että oli hyvä valinta tutkia opinnäytetyössä mallinnusprosessia pienemmässä mittakaavassa. Koko Kemijärvi-hankkeen kattavien koneohjausmallien tekeminen yhdessä maastomallin tarkastamisen ja mallipohjaisen määrälaskennan kanssa olisi ollut liian kunnianhimoinen prosessi. Opinnäytetyöprosessi oli minulle erittäin

opettavainen ajatellen tulevaisuuden tietomallipohjaista rakentamista. Mielenkiinto työtä kohtaan säilyi loppuun asti ja se myös motivoi tekemään työn loppuun.

LÄHTEET

3D-Win 2014. Maastomalliohje. 3D-system Oy. Vantaa.

InfraBIM 2012. InfraBIM-nimikkeistö. Viitattu 10.1.2015
http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2014/03/InfraBIM_nimikkeisto_v1_5.pdf.

InfraBIM 2014. Inframodel 3 -tiedonsiirtoformaatti otetaan yleiseen käyttöön. Viitattu 21.12.2014 <http://www.infrabim.fi/inframodel-3-tiedonsiirtoformaatti-otetaan-yleiseen-kayttoon/>.

InfraBIM 2015a. Yleiset inframallivaatimukset 2015 – YIV 2015. Viitattu 7.1.2015 <http://www.infrabim.fi/yiv2015/>.

InfraBIM 2015b. InfraTM -hanke lyhyesti. Viitattu 7.1.2015
http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/infratm_hanke_lyhyesti.html.

Infrakit 2014. Toimiva ratkaisu tietomallipohjaiseen rakentamiseen. Viitattu 20.12.2014 http://www.infrakit.com/documents/Infrakit_esite_20-02-2014.pdf.

Jaakkola, M. 2010. Työkoneautomaatio hyötykäyttöön -haaste työnjohdolle. Tierakennusmestarit 4/10, 44–46.

Jaakkola, M. 2015. Destia Oy. Kehittämispäällikön haastattelu 16.1.2015.

Junnonen, J-M. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.

Kajananen, J. 2006. Inframodel2 -loppuraportti 2006. Viitattu 20.12.2014
http://cic.vtt.fi/projects/inframodel2/material/Published/Reports/IM2_Loppuraportti_luonnos0_8.pdf.

Kemijärvi-hanke 2014. Lähtötiedot ja työselostus.

Kovalainen, V & Liukas, J. 2013. Inframodel -käyttöönotto-ohje versio 1.0. Viitattu 20.12.2014 http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Leskelä, V-P. 2013. Säästöjä mittaamalla. VIA 3/2013 Destian sidosryhmälehti, 14–15. Luettavissa <https://luettavaa.a-lehdet.fi/lue/via/03-2013/001-destia/14-15>.

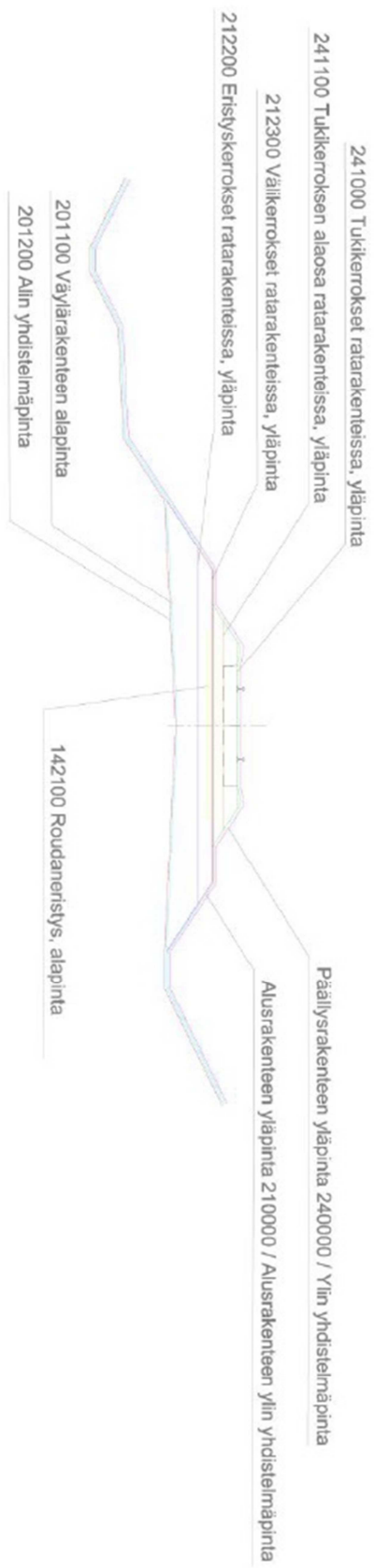
- Liikennevirasto 2010. Ratatekniset ohjeet Osa 2 Radan geometria. Viitattu 15.1.2015 http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf.
- Liikennevirasto 2011a. Maastotietojen hankinta – Toimintaohjeet. Viitattu 17.1.2015 http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-23_maastotietojen_hankinta_web.pdf.
- Liikennevirasto 2011b. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. Viitattu 17.1.2015 http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-18_tie-ja_ratahankkeiden_web.pdf.
- Liikennevirasto 2014. Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta. Viitattu 15.12.2014 http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf.
- Marttila, H. 2015. Destia Rail Oy. Mittausvastaavan haastattelu 19.1.2015.
- Marttinen, M. 2014. PRE/Inframallin vaatimukset ja -ohjeet. Tieverkon ylläpidon mallivaatimukset. NCC Roads Oy. Viitattu 12.1.2015 http://www.rts.fi/infratm/mallinnusohjeita2014/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_11.1_140405_Tieverkon_yllapidon_mallivaatimukset.pdf.
- Mäkelä, H. 2006. Miten tietomalli tulee muuttamaan urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden tapaa toimia. Viitattu 18.12.2014 http://www.rts.fi/infrabim/Tietomalli_muuttaa_toimintatavat.pdf.
- Novatron 2014. Novatron-kaivinkonejärjestelmät. Esite.
- Nurminen, P. 2011. Työkoneautomaatio osa normaalia toimintaa infrarakentamisessa. Viitattu 16.1.2015 [http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Pirkanmaan_paivat_2011_Pasi_Nurminen.pdf/\\$file/Pirkanmaan_paivat_2011_Pasi_Nurminen.pdf](http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Pirkanmaan_paivat_2011_Pasi_Nurminen.pdf/$file/Pirkanmaan_paivat_2011_Pasi_Nurminen.pdf).
- Palviainen, P. 2014. PRE/Inframallin vaatimukset ja -ohjeet. RAKENNEMALLIT; MAA-, POHJA- JA KALLIORAKENTEET, PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET. Viitattu 16.12.2014 http://infrabim.fi/luonnokset/YIV2014_Mallinnusohjeet_OSA_5.3_Vaylarakenteen_toteumamallin_laatimisohje_04122014.pdf.
- Ratahallintokeskus 2006. Ratatekniset määräykset ja -ohjeet Osa 13 radan tarkastus. Viitattu 15.1.2015 http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf.
- Rakennustieto 2010. Kohti infra-alan yhteistä tuotemallistandardia. Viitattu 11.12.2014 www.rts.fi/infrabim/InfraBIM_kalvosarjaJS.ppt.
- RIL 2014. Tietomallinnus. Viitattu 17.12.2014 <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>.

- Ruuti, P. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja -ohjeet. Määrälaskenta ja kustannusarviot. Viitattu 20.1.2015
http://www.rts.fi/infratm/mallinnusohjeita2014/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_9_Maarialaskenta.pdf.
- RYM 2014. RYM-huippututkimus vauhditti mallintamisen läpimurtoa rakennusalalla. Viitattu 21.12.2014 <http://rym.fi/fi/rym-huippututkimus-vauhditti-mallintamisen-lapimurtoa-rakennusalalla/>.
- RYM 2015. INFRA FINBIM -työpaketti. Viitattu 7.1.2015
<http://aedesign.fi/rym/tutkimusohjelmat/PRE/infracinbimtyopaketti/index.html>.
- Snellman, S. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja -ohjeet. Väylärakenteen toteutusmallin vaatimukset ja -ohjeet. RAKENNEMALLIT; MAA-, POHJA- JA KALLIORAKENTEET, PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET. Viitattu 17.12.2014
http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_5.2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohje_100414.pdf.
- Topgeo Oy 2014. Mitä koneohjaus on?. Viitattu 8.1.2014
http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126.
- Virtanen, J & Liukas, J. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja -ohjeet osa 3.0. Lähtötiedot. Sito Oy. Viitattu 15.12.2014
http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_3_Lahtotiedot_1_3.pdf.

LIITTEET

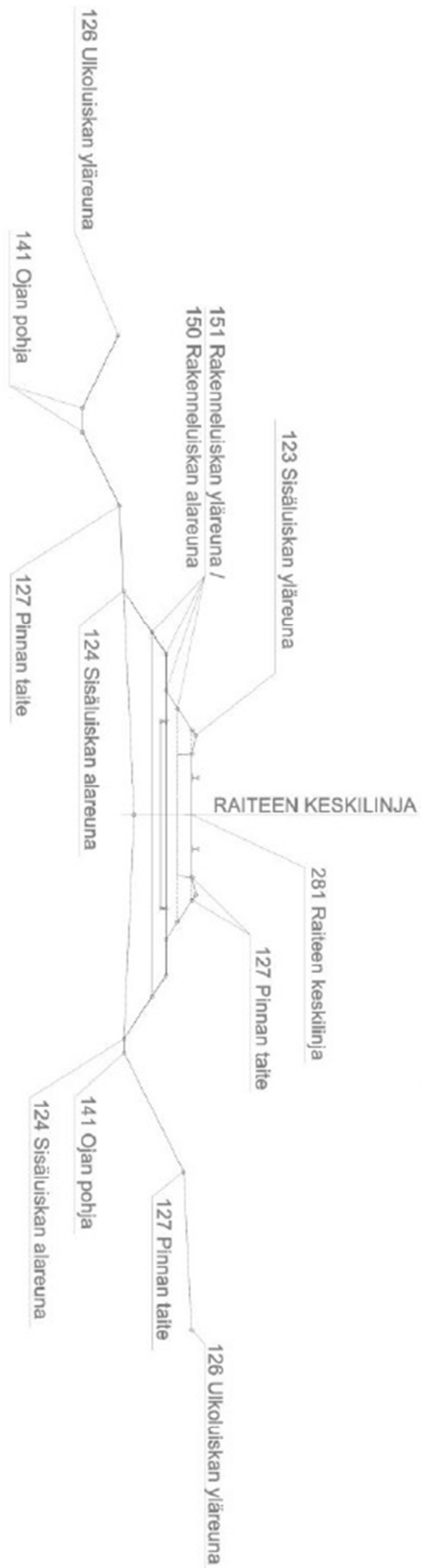
- Liite 1. Yksiraiteisen junaradan mallinnettavat rakennepinnat ja niiden nimeäminen. (InfraBIM 2012, 29.)
- Liite 2. Yksiraiteisen junaradan mallinnettavat taiteviivat ja niiden nimeäminen. (InfraBIM 2012, 29.)
- Liite 3. Ratapenkereen rakennepoikkileikkaus, maaleikkaus. (Kemijärvi-hanke 2014.)
- Liite 4. Ratapenkereen rakennepoikkileikkaus, penger. (Kemijärvi-hanke 2014.)

Pinnat ja koodit (luonnos)



Liite 1. Yksiraiteisen junaradan mallinnettavat rakennepinnat ja niiden nimeäminen.

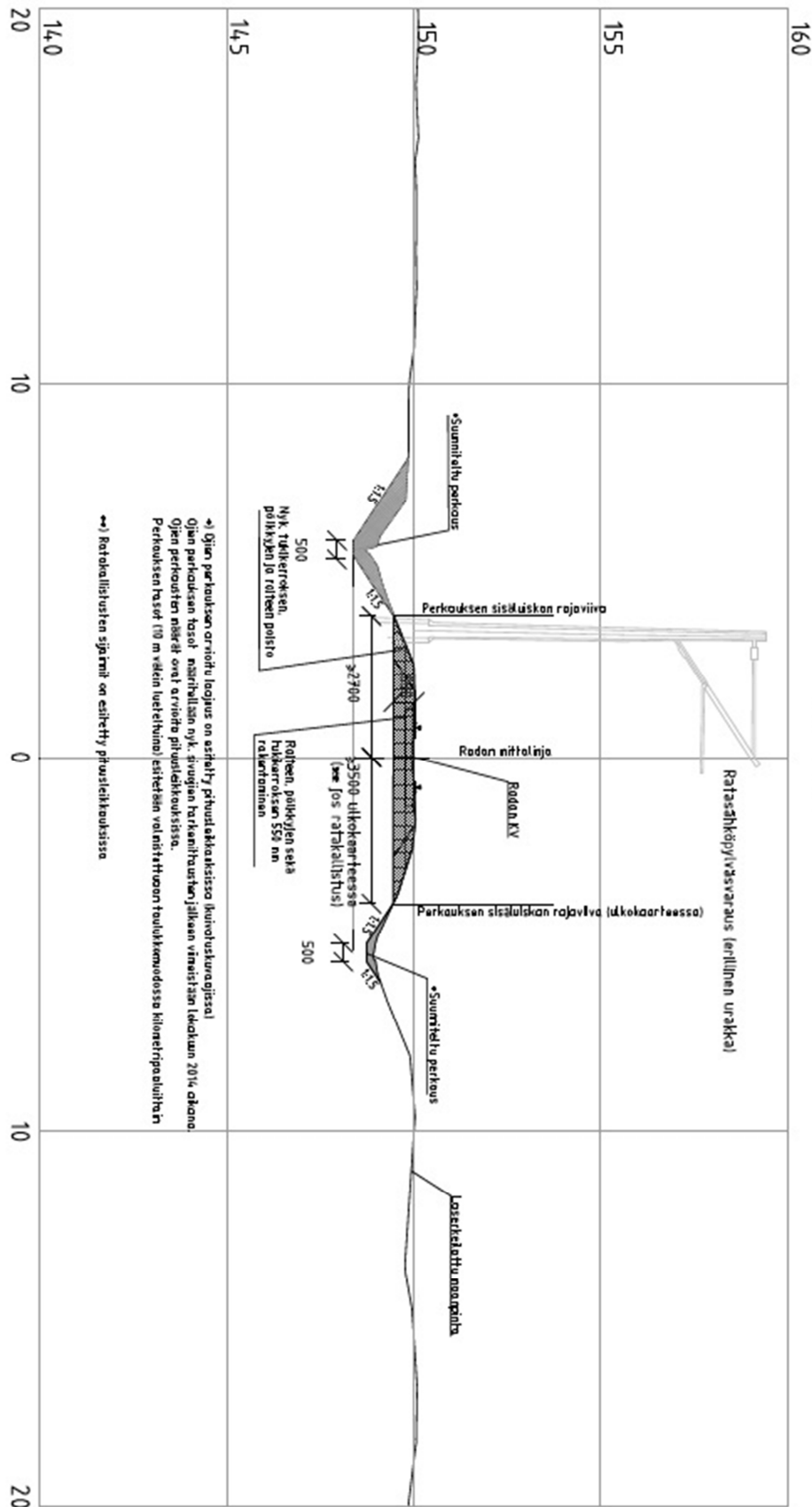
Taiteviivat ja koodit (luonnos)



Liite 2. Yksiraiteisen junaradan mallinnettavat taiteviivat ja niiden nimeäminen.

Rakennepoikkileikkaus Maaleikkaus

JK-1-LB550-5,4



Liite 3. Ratapenkereen rakennepoikkileikkaus, maaleikkaus.

JK-1-P8550-5,4

